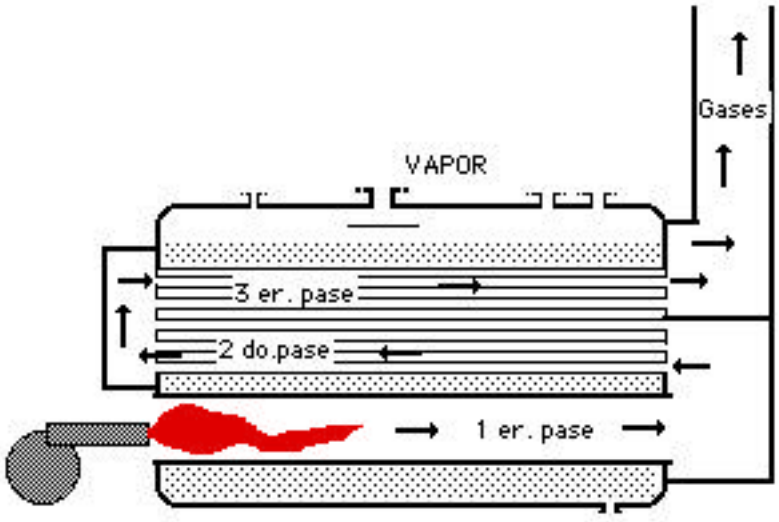
CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)



CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

<u>MODULO 5:</u>

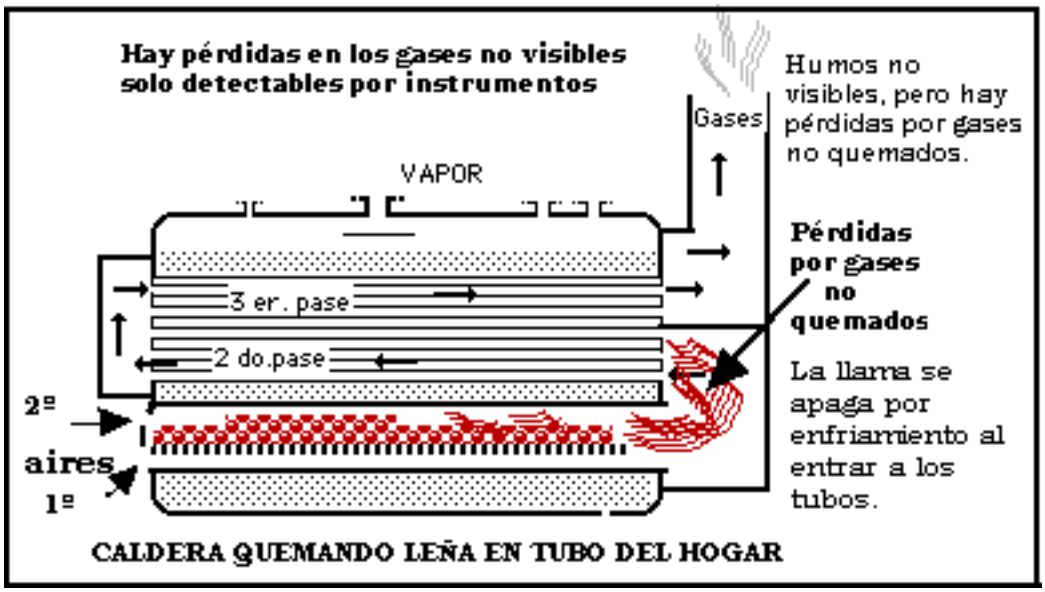
PUESTA EN MARCHA

CALDERAS A LEÑA

CASCARA DE ARROZ

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

VEAMOS COMO SE OPERAN LAS CALDERAS A LEÑA


Hay pérdidas en los gases no visibles
solo detectables por instrumentos
Humos no visibles, pero hay pérdidas por gases no quemados.
Gases
VAPOR
Pérdidas por gases no quemados
3 er. pase
2 do.pase
La llama se apaga por enfriamiento al entrar a los tubos.
2º
aires
1º
CALDERA QUEMANDO LEÑA EN TUBO DEL HOGAR

PUESTA EN MARCHA DE CALDERAS A LEÑA

La leña es **un excelente combustible**, cuyo contenido de carbono e hidrógeno, le dan un poder calorífico de buen nivel, aunque tiene bastante oxígeno ya integrado, el cual suponemos que ya está unido al hidrógeno (por ello la combustión a leña se parece en las medidas de sus gases a la combustión del carbón, dando un alto contenido de CO2 en base seca, casi más del 20%). Los elementos más indeseables en la leña, es el agua o humedad, pero el contenido de azufre es prácticamente cero.

Debemos de aclarar que la leña que normalmente utilizamos en calderas, es la **leña de eucaliptos** (y **no la leña de monte**, que si bien es un **patrimonio nacional que no debe ser consumida, no solamente por esta razón, sino porque en su combustión produce una ceniza que se funde como vidrio, la cual tapa las grillas o parrillas, afectando la marcha de la caldera**, esto con el eucaliptos no ocurre).

Si bien la leña produce un alto contenido de CO2 en sus humos, tiene la ventaja que es un CO2 que el propio árbol consume en su crecimiento o formación de la madera, es decir que se produce un equilibrio entre el CO2 producido y el CO2 consumido, lo cual hace que no se acumule en la atmósfera, como ocurre con los combustibles fósiles (carbón, F. Oíl y otros líquidos y gases naturales y extraídos del petróleo).

Debemos de dividir en dos casos: calderas de **quema directa** y **quema a gasógeno**.

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

Quema leña directa:

Cuando ponemos en marcha una caldera, lo primero es revisar todos aquellos elementos que intervienen en su funcionamiento:

1-Verificar que se encuentre **llena con agua adecuada** (ablandada, tratada químicamente, etc.) hasta casi el nivel normal (1/4 del nivel visual o el corte del automático de la bomba, ya que el nivel aumentará al aumentar la temperatura del agua). Para llenar la caldera cerrar todas las purgas y abrir el grifo atmosférico (purga de aire). Se supone que la válvula principal de vapor (válvula de cuello) se encuentra cerrada.

Si la **caldera estuviera en "conserva"** por algún método seco, primero se debe **extraer los productos "secantes"** de su interior (cal viva,"silicagel", etc.), poner tapas de visita y hacer una prueba de estanqueidad (hidráulica). Si estuviera **inundada con agua** tratada para un método de conservación húmeda, es suficiente generalmente **bajar el nivel** del agua con las purgas, abriendo el grifo atmosférico para "romper" el vacío (para que entre el aire).

2-**Verificar los controles de nivel** (abrir sus purgas y verificar que accione la bomba de alimentación, previo a abrir sus válvulas de succión y descarga, oir y ver señales de bajo nivel).En algunos casos es necesario efectuar una prueba hidráulica de "estanqueidad" (probar que no haya pérdidas de agua o vapor). Para ello se puede levantar presión de "trabajo" con la misma bomba de alimentación (en forma lenta), sacando el aire por el grifo atmosférico (el grifo atmosférico sirve tanto para sacar el aire y gases, como para evitar que se produzca "vacío" en el interior de la caldera al enfriar o vaciar la misma). Con 10 minutos de presión (todas las válvulas cerradas), observando exterior e interior de la caldera (hogar y cajas de humo) por pérdidas de agua, y que la presión en el manómetro no baje más que muy lentamente (alguna pérdida en empaquetaduras). Luego hacer bajar la presión lentamente (purga) y regular el nivel (purga y grifo atmosférico)., debemos proceder a su puesta en funcionamiento.

Recordemos que la **combustión** será **manejada con el aire que entra en el hogar**, debajo de la "parrilla" (primario) y sobre la "parrilla" (secundario) y que dependerán de la apertura de los registros y de la depresión del hogar ("vacío" provocado por el tiro natural de la chimenea o por un ventilador de tiro inducido).

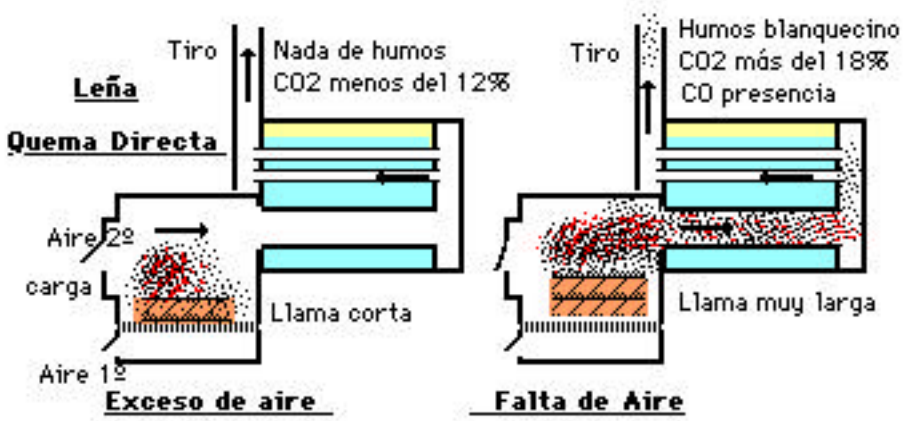
Como la carga de leña es normalmente estable (una determinada altura sobre la "parrilla": grillas), para

aumentar la combustión debemos **aumentar el aire debajo de la leña**, de manera que se produzca una combustión cuyo calor **volatilice a su vez parte de la leña**. Este "gas de leña" **entra en combustión** con el "**aire sobrante**" que entró **debajo de la "parrilla"** (estableciéndose una llama luminosa y de alta temperatura. Lo que permite una combustión rápida del gas es el **aire ya calentado** en la zona de combustión primaria) y con el **aire** que entra por encima de la "parrilla" (**secundario**).

Muchas de estas calderas **precalientan el aire que entra debajo de la "parrilla"** aprovechando el calor de los gases de chimenea (bajando su temperatura a menos de 160ºC), de manera de **aumentar la Eficiencia de la caldera** (aprovechando mejor el calor) y **mejorando** las condiciones de **combustión** (a mayor temperatura, la combustión es "más rápida" y se puede quemar la leña de un alto tenor de humedad, más del 40% de humedad). Este **precalentamiento** se puede hacer debido a que las "**parrillas**" **son** "**refrigeradas**" (las grillas que forman la parrilla son de hierro fundido de aleación especial) que al montarse sobre tubos en que circula el agua de la caldera, permite la "refrigeración" del metal de la grilla (no dejando que su temperatura sea demasiado alta), pero a su vez permite el precalentamiento del aire y de las grillas (cuya temperatura estará por lo menos cercana a la temperatura del agua de la caldera). El aire se puede entonces "precalentar" sin correr el riesgo de "quemar" las "parrillas" (grillas) a temperaturas de más de 150ºC. (aumenta la velocidad de reacción de la combustión, lográndose que esta se produzca antes de abandonar la cámara de combustión).

El hecho de que el aire primario sea precalentado (con o sin precalentador de aire), hace que este aire juegue un papel fundamental en la combustión completa o total, siendo el aire secundario utilizado solamente el los régimenes altos de vaporización.

La combustión del carbono y el hidrógeno, se cumple en diferentes etapas. Inclusive la humedad de la leña (siendo poca) es favorable a esta combustión, ya que la misma interacciona con el carbono a altas temperaturas y provoca una gasificación en el lecho de combustión, que favorece la formación de la llama (la llama luminosa es muy favorable para la transmisión del calor por radiación).

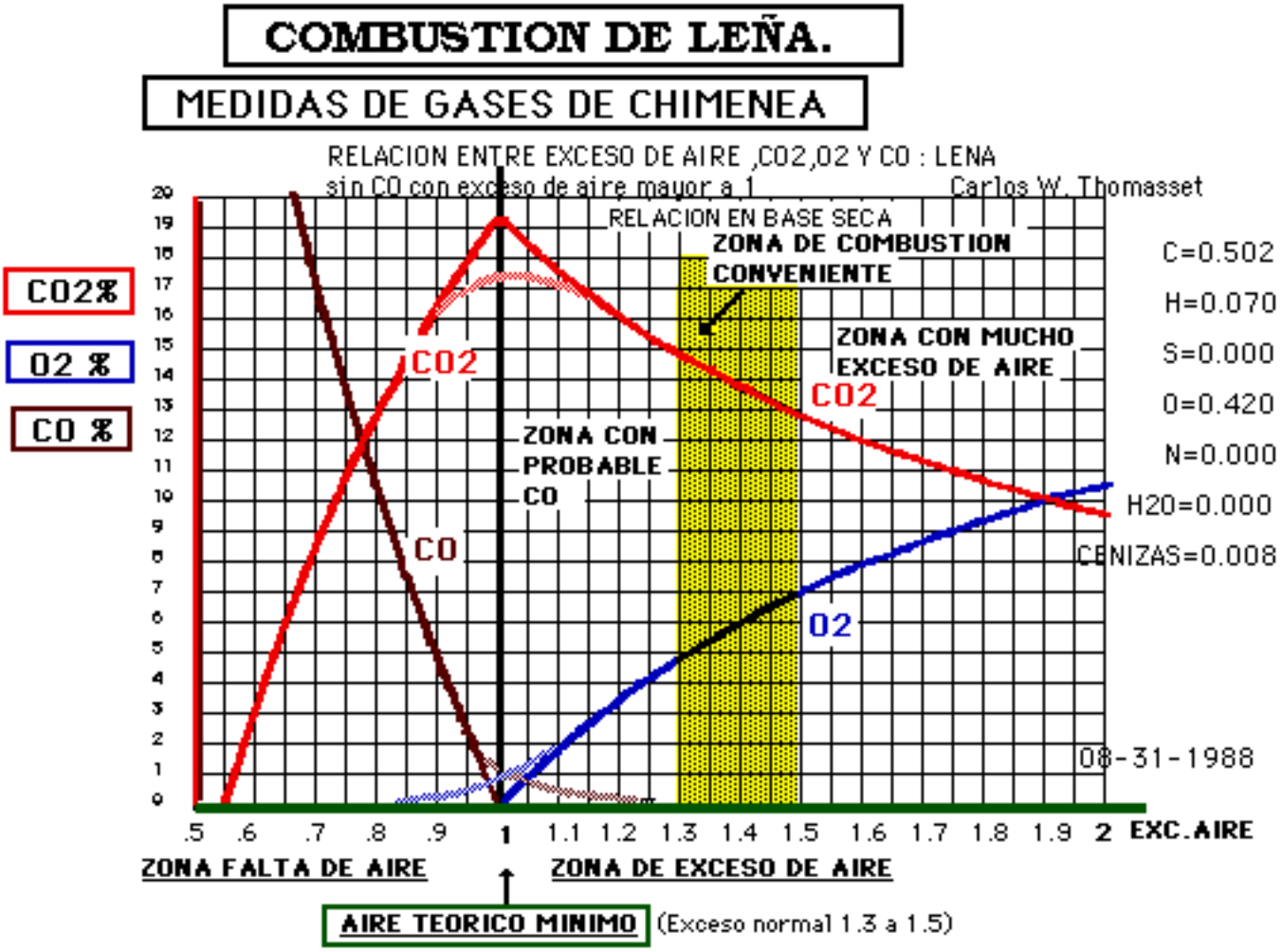


Puesta en marcha:

Es importante proceder a un correcto "barrido" del hogar con aire (abriendo el tiro inducido y los registros 1º y 2º) y **no utilizar bajo ningún concepto combustibles líquidos que puedan gasificar** (cuidado que si la parrilla esta caliente: el Gas Oíl, Aceites o aún el F.Oíl podrán gasificar), **Mantener siempre una depresión en el hogar** y un pequeño "barrido" **(siempre que trabajemos con apertura del hogar debemos de mantener una depresión: nunca abrir el hogar con el tiro cerrado y/o el tiro inducido apagado.** Puede que con el aire que entra por la boca de carga provocar una ignición de los gases en el interior del hogar al no haber barrido de gases), mientras ponemos elementos **combustibles secos o humedecidos con combustibles pesados si no hay temperatura** (cartones, estopas, cáscaras, papeles, leña astilladas, etc.). Con un hisopo prender la base de estos elementos e ir agregando leñas (rolos finos, costaneras, etc.) hasta poder agregar rolos de suficiente tamaño. No hacer un fuego "grande" con la caldera fría, calentar suavemente de manera uniforme toda la caldera. Al principio trabajar el

fuego con "exceso de aire " (manteniendo el tiro abierto y dando aire con los registros 1º y 2º, debido a que el hogar esta frío la combustión no será buena). **Una caldera fría debe ser calentada en varias horas** (2 a 8 horas, dependiendo de la caldera) y si la caldera estuviera parada del día anterior será suficiente un par de horas (1 a 2 horas , dependiendo del tipo de caldera).

Reitero, no introducir combustibles líquidos "tirándolos" por la boca de carga, ya que se puede provocar una explosión de hogar (al gasificar y mezclarse con el aire en el interior del hogar forma una mezcla explosiva) **ni abrir la boca de carga con el tiro cerrado** (natural o inducido) **o el ventilador del tiro inducido apagado** (no existiendo suficiente tiro natural).



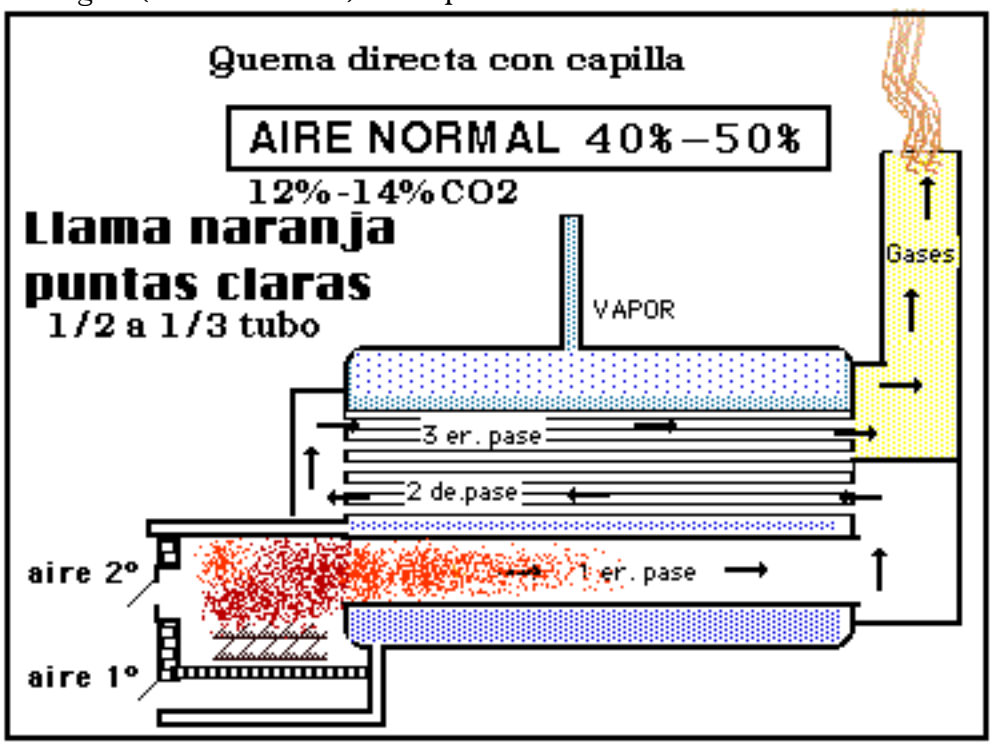
Regulación de la combustión en la quema directa :

1- **Falta de aire**: como no se presentan **humos** negros (generalmente **apenas blanquecinos, como "vapores"**, o si la falta de aire es muy notoria puede hacer humos algo negruzcos) la **medición de los gases** juega un papel **importante,** ya que no habiendo humos puede haber un CO2 del 16% a 18% con presencia de CO en forma importante (por cada 1% de CO la pérdida por gases sin quemar en chimenea puede ser de más del 5%). A veces es preferible mantener el CO2 entre 14% y 16% para evitar la posibilidad de formación de CO (ya que además de la pérdida de energía, junto con el monóxido de carbono van alquitranes que tienden a ensuciar las superficies de intercambio). Puede haber una falta real o aparente del aire. Ambas son provocadas por la utilización de leña con **mucha humedad** (más del 35% de humedad), hogar con **carga de leña en exceso** (no permite la entrada de aire

bajo la parrilla en forma pareja y se produce "destilación"), **exigir demasiado** la capacidad de la caldera, **aires mal** regulados, "**parrillas**" **tapadas** de cenizas (por falta de limpieza), falta de **remoción o atizado de la leña** sobre la "parrilla", **caldera sucia** con pasajes de aire restringidos: tubos tapados, sucios de cenizas , etc..

La **cantidad de combustión se regula** con la **cantidad de aire que forzamos** (o succionamos con el tiro) **debajo de las grillas** ("parrilla"), para una altura dada de leña. Con el **aire secundario regulamos el largo de la llama** (completamos la combustión en regímenes altos) y con **el tiro inducido** (o natural) **mantenemos una depresión en el hogar** (- 3 a - 5 mm.c.a. : milímetros de columna de agua) de manera de manejar el volumen resultante de los gases de combustión (y la succión del aire primario y secundario si no hay forzadores).

Para mantener una **idea práctica de la combustión**, debemos **observar el fuego** en el tubo central del hogar o sobre el banco convectivo (caldera acuo-tubulares). La combustión **no debe llegar al fondo del hogar** o al banco convectivo, **debe terminar antes de que la llama se enfrie**. Al medir los gases de chimenea, es conveniente disponer un **triángulo de OSTWALD** para leña y así poder comprobar que las 3 lecturas cierran en un punto del triángulo (son coherentes).Ver capítulo de Eficiencia.



2- **Buena combustión :**

En este caso no se ve prácticamente **nada en la chimenea** (un leve velo vaporoso o nada), el CO2 estará entre 14% y 16% , el O2 3,5% a 6%, el CO será 0%.

Observando la llama como guía, esta **debe entrar en el tubo central** del hogar **hasta la mitad** del mismo (en el banco convectivo de las acuotubulares, **debe de "lamer" los tubos**).

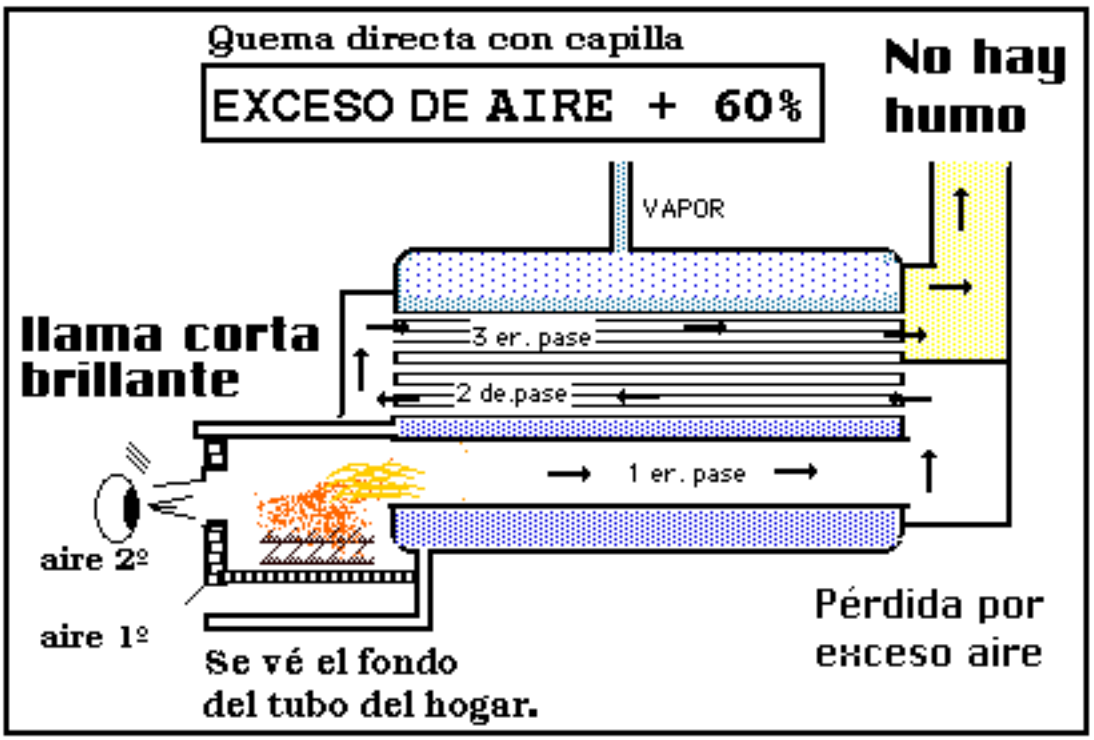
Regule con el aire secundario y/o la carga de leña para acortar o alargar la llama. Para **mantener estos valores** es aconsejable **cargar en períodos cortos**, **remover la leña** entre períodos, usar **leña relativamente seca** (25% a 30% de humedad), **no sobrecargar** el hogar con leña, mantener la "**parrilla**" **(grillas) limpias**, siendo muy conveniente que la **depresión** del hogar (tiro inducido) y el **aire primario** (forzador bajo grilla) **sean automáticos** (la depresión del hogar entre -3 a -5 mm.c.a, con sensor de depresión comandando el tiro, modulando una válvula de gases de mariposa o persiana, etc., y la alimentación forzada bajo grilla comandada en forma modulante con la presión del vapor : al bajar la presión aumenta el aire y viceversa). La automatización permite un marcha muy regulada, quedando sólo el manejo de la leña y del aire secundario (que también se puede

automatizar).

De todas maneras si la presión llega a un máximo, cerrando los aires y gases, un presóstato apagará el tiro inducido y el forzador bajo grilla.

Recuerde: no abra la puerta de carga ni las tapas de observación estando los tiros apagados.

En caso de que la presión debido a una inercia térmica subiera por encima de la presión de trabajo, saltaría la primer válvula de seguridad o válvula de servicio de línea. Como la quema directa tiene una gran vaporización en la cámara de combustión (la "capilla" se encuentra expuesta al calor radiante y vaporiza desde un 40% a un 60%), la caldera **tiene una gran respuesta** a los cambios exigidos de vaporización .

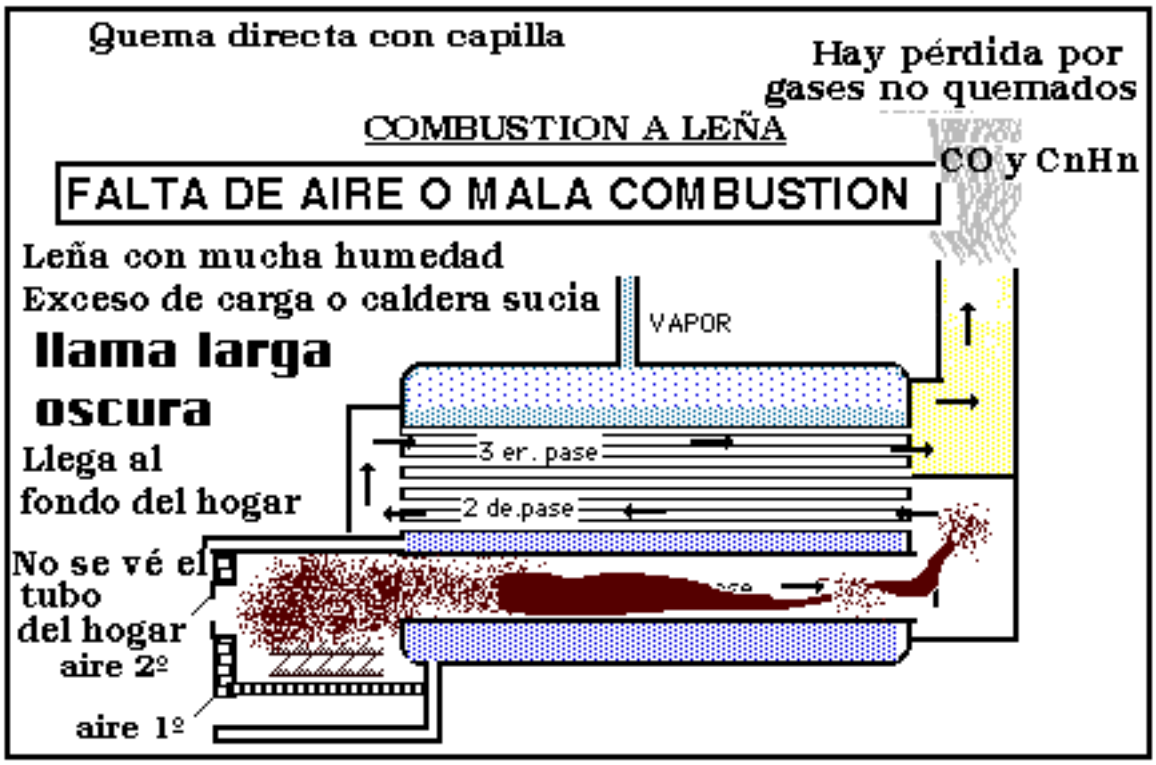


3- **Exceso de Aire:**

En este caso, en la **chimenea** no se observa **nada** (solo gas caliente). El CO2 estará por debajo del 12%, el O2 por encima del 8% y nada de CO (podrá haber algo de CO en algunos casos: llama fría). La observación de la **llama: se ve muy corta**, el **tubo central del hogar vacío** de llama. La **causa** de ésto se debe a: **carga** de leña muy **baja**, "**parrilla**" **mal tapada** de leña, **entrada de aire** exagerada por encima de la "parrilla", **depresión** del hogar **muy alta** (más de 5 mm.c.a.), **no** "**atizado**" de los fuegos, **mala regulación** de los automáticos de los aires, entradas de aires indebidas, etc..

4- **Mala combustión:**

La mala combustión **puede existir** a pesar de que la **cantidad** de **aire** y de l**eña sea la correcta**. La llama podrá ser larga en determinados momentos y corta en otros y generalmente se puede deber a **leña excesivamente húmeda** (más del 40% de humedad, es necesario más exceso de aire a medida que aumenta la humedad), **cargas demasiadas espaciadas** (esto obliga a sobrecargar la parrilla produciendo en los primeros momentos falta de aire y al final exceso de aire), leña **no "removida o atizada "**, **aires mal regulados o oscilantes**, **caldera sucia**, etc



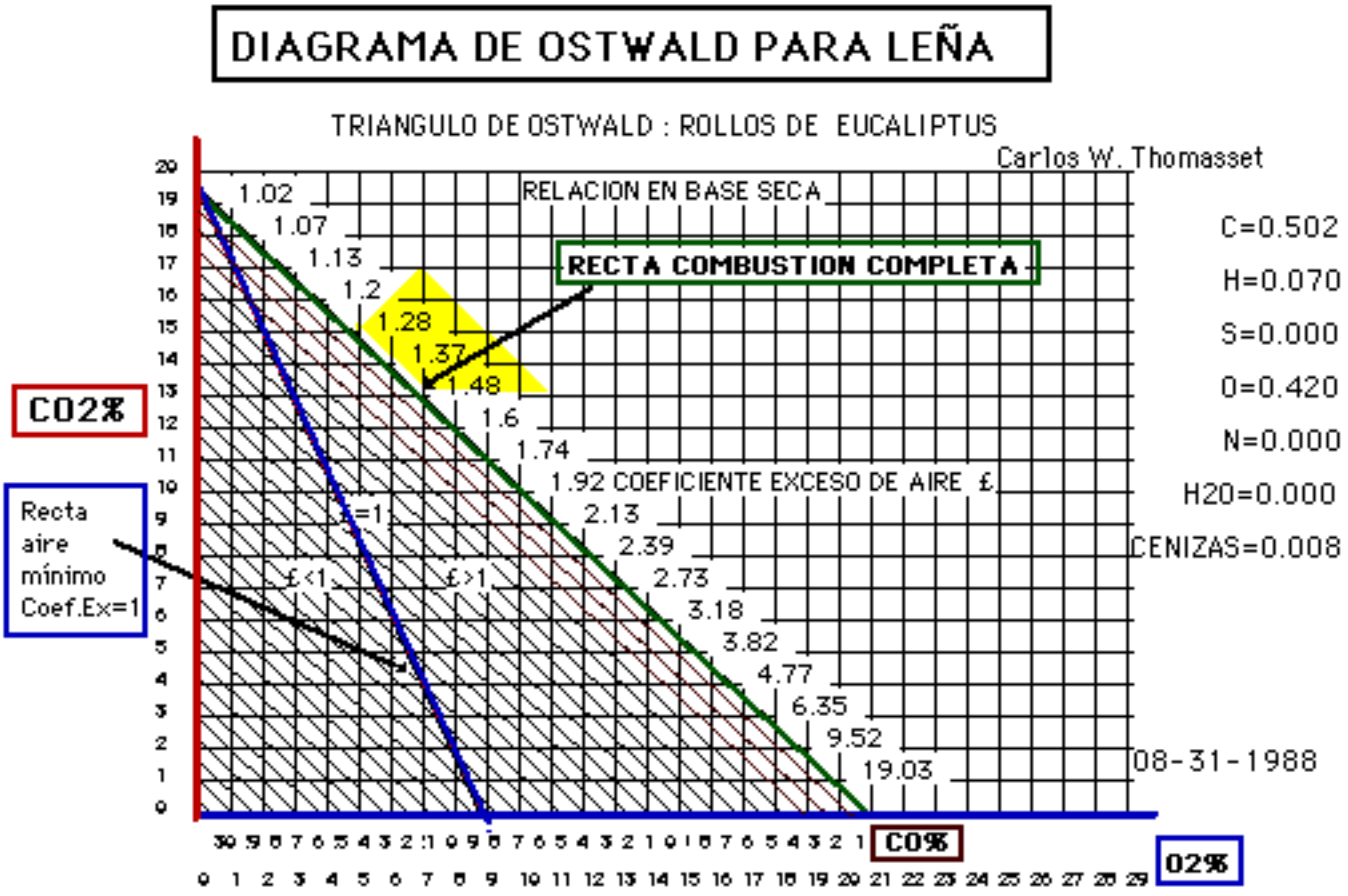
Para parar una caldera de combustión directa, es suficiente: **cerrar** bien todos los **aires** (especialmente las entradas al hogar y el tiro: al no haber oxígeno no habrá combustión). A veces es conveniente dejar una pequeña depresión natural en el hogar para evitar la pérdida de gases a la sala de caldera. Si la caldera se para definitivamente o hasta el día siguiente: se debe **disminuir la carga de leña** unas **horas antes** de manera que terminada la jornada no quede casi leña en el hogar, dejando consumir suavemente lo que quede (no debiendo inquietar si es necesario dejar un escape de vapor para limitar la presión. Generalmente no es necesario, ya que si la presión sube por encima de la de trabajo, las válvulas de seguridad o la de alivio de línea se encargarán de bajarla). Lo que **no** se debe hacer es **cortar la alimentación de agua** bajo ningún concepto y **no** tratar de **despresurizar la caldera** tirando vapor a la atmósfera en forma indiscriminada.

En las **calderas** a combustibles **celulósicos** (leñas, cáscaras, etc.) **es importante disponer un sistema de alimentación de agua auxiliar** (que no dependa de la energía eléctrica, como puede ser, un inyector a vapor o un "burrito": bomba alternativa a vapor). Este sistema auxiliar debe ser usado cuando hay cortes de energía eléctrica (o en fallas de la alimentación normal), pero, la válvula principal de vapor debe ser cerrada (si faltase alimentación con más razón) y los aires cerrados para mantener la producción de vapor a cero (no olvidar que la planta no funcionará normalmente al no haber energía eléctrica, a pesar que si se quiere se puede seguir vaporizando con el tiro natural y esta alimentación auxiliar).

Los **inyectores de vapor deben ser alimentados** con **agua fría** y preferiblemente **ablandada** (ya que la utilización con agua caliente del mismo tanque de alimentación puede no dejar funcionar el inyector debido a que su funcionamiento se debe a la condensación del vapor: transformación de la energía térmica en energía dinámica, y que el uso de aguas duras pueden provocar incrustaciones que bloqueen los pequeños orificios y conductos que los componen).

Las bombas alternativas de vapor ("burritos"), tienden a "endurecerse" ("engriparse") por estar parados en la mayor parte de su tiempo y deben ser puestos a prueba en forma seguida (diaria o semanal) y utilizar los lubricantes adecuados (ya que el contacto con el agua y el vapor tienden a afectar a los lubricantes no "especiales" a esta función).

Las **calderas** que tengan **calentadores de aire**, se verán muy **beneficiadas en la combustión** y en la **recuperación de calor** (Eficiencia). Pero estos calentadores recuperadores deben de ser **limpiados en forma periódica** (una vez o más por mes) del **lado de gases** (es muy beneficioso la utilización de **agua caliente para la limpieza de ceniza depositada)**, pudiendo en algunos casos instalarse un **sistema de lavado con agua caliente con la caldera en funcionamiento**, evitando así parar la caldera. (La misma agua de alimentación puede ser usada).



Ver en el módulo 6 de gas natural la explicación de la aplicación del triángulo de OSTWALD.

Quema de leña por gasógeno :

El gasógeno debe ser prendido con mayor cuidado que la quema directa. Se deben tener todas las precauciones anotadas anteriormente, a las que hay que sumar el hecho de que tenemos una **combustión primaria** y luego el **gas producido se debe quemar** en una **combustión secundaria separada de la primera** en el hogar de la caldera. **Primero se prende el gasógeno**, haciendo funcionar el tiro. En el primer momento la combustión en el interior del gasógeno será total con muy poca formación de gases (hay un exceso de aire en el interior del gasógeno debido a la relativa combustión de comienzo). Luego se verá que **la temperatura de los gases de entrada a la cámara** de combustión de la caldera empieza a **subir** (indicando que el volumen de gasificación empieza a ser importante), aumentando posteriormente el aire primario (y la carga de leña) la **riqueza de los gases** (CO y otros) **aumenta.** En este momento se debe tener una **llama piloto en la cámara de combustión de la caldera** (generalmente a gas de garrafa o quemador auxiliar a gas-oil) que **se mantendrá prendido**. Dando **lentamente aire secundario** se logra que entre la producción de **gas del gasógeno** y el **aire secundario** que se hace llegar (generalmente algo calentado si la caldera esta caliente o frío si la caldera esta fría) **se establezca una llama secundaria estable** (al principio se producirá una llama muy **poco estable**: pocos gases y aire frío, con tendencia a producir "pulsaciones").

En algunos gasógenos, si bien hay combustión secundaría, por ser la unión entre la caldera y el gasógeno de gran sección y corto pasaje, la combustión secundaria es en realidad una "prolongación" de la combustión

primaria, no necesitándose en estos casos la presencia de llamas pilotos.

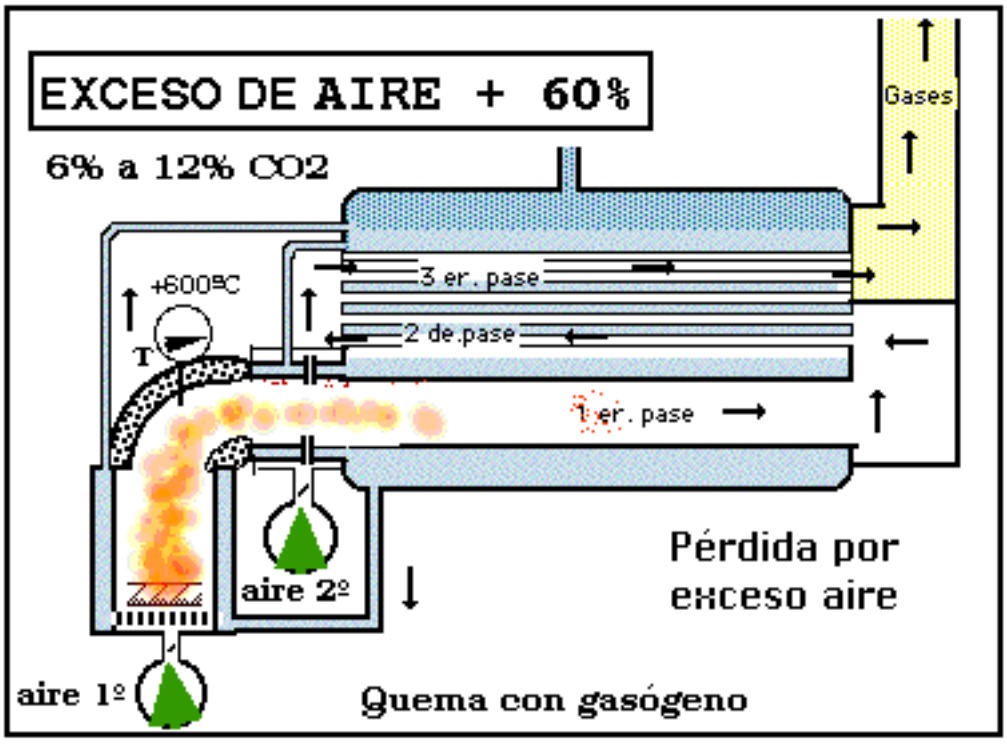
La **llama secundaria** se podrá chequear por las mirillas. En la chimenea al principio se notan muchos gases "sucios" que luego desaparecerán (a medida que la temperatura de los gases que entran en la cámara de combustión secundaria aumenta, la llama se estabiliza). La **regulación** del **aire secundario** se debe hacer por **instrumentos** o mirando una "**llama** " **poco visible** (de color pálido azulado), tratando que la misma se ejecute sin llegar al "fondo" del hogar (ya que al entrar a los tubos de humo se apaga, ensuciando los mismos muy rápidamente, subiendo la temperatura de chimenea y restringiendo el pasaje de gases a los pocos días) y la **cantidad de aire secundario** estará en **relación** a la cantidad de **aire primario** (de acuerdo a la necesidad de vaporización de la caldera). La **carga de leña** se **regula** por la **altura** de la misma y por la **temperatura de los gases a su salida** en el gasógeno (ya que la misma refleja la altura del "lecho" de astillas o rolos cortos sobre la "parrilla", bajando con una sobrecarga -gas muy rico- o subiendo momentáneamente al bajar el "lecho" hasta cierto valor y luego bajando por falta de combustible para gasificar: recordar que la gasificación perfecta produciría 1/3 aprox. del calor disponible en el interior del gasógeno). **Se debe tratar** de **no dejar bajar el** "**lecho**", ya que se producen **altas temperaturas** (por la alta velocidad del aire localmente) y no se deben extraer las cenizas totalmente, ya que se pueden "**quemar**" **las** "**grillas**" (soporte normalmente giratorio). La **llama secundaria** debe ser "**monitoreada**" **permanentemente** y en el caso que deba apagarse, el **reencendido debe ser piloteado** (restableciendo el aire secundario lentamente) o de lo contrario se producirán **explosiones o llama inestable** en el hogar. En algunos casos no se necesita llama piloto (reencendido directo desde el gasógeno).

.

La combustión se regula con el aire primario y el aire secundario a la vez, debiéndose tener en cuenta

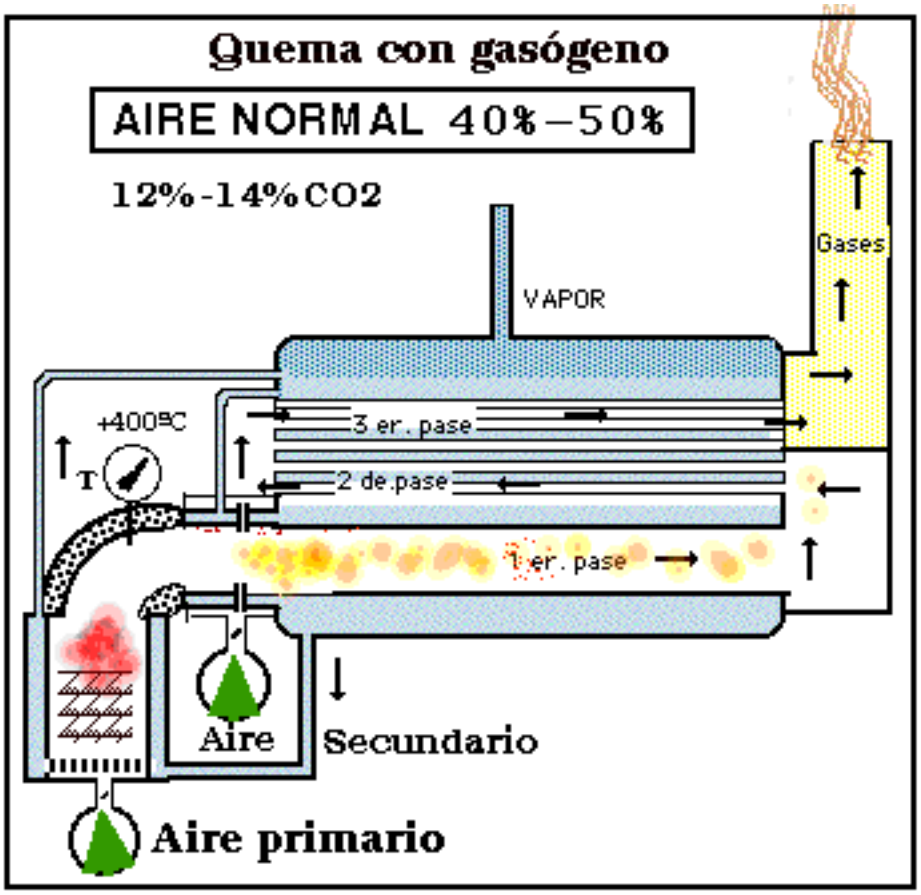
la carga de leña , ya que cualquiera de los 3 elementos puede afectar la condición de un buen rendimiento (a más necesidad de combustión, se necesitan más gases -aumentando el aire primario -para quemar en el hogar con más aire secundario).

Regulación de la combustión por gasógeno a leña:



1-Exceso de aire :

La **llama secundaria** muy corta , **hay fuego** (llama luminosa) en el interior del **gasógeno** , el CO2 es menos del 12% , el O2 más del 8%. No hay humos en chimenea y la temperatura de los gases combustibles es alta (si hay sufie leña en el gasógeno). Al usar instrumentos para medir los gases de chimenea es conveniente utilizar un **triángulo de OSTWALD** para leña, para verificar que las lecturas cierren en un "punto": así se puede establecer que es correcta la medición.

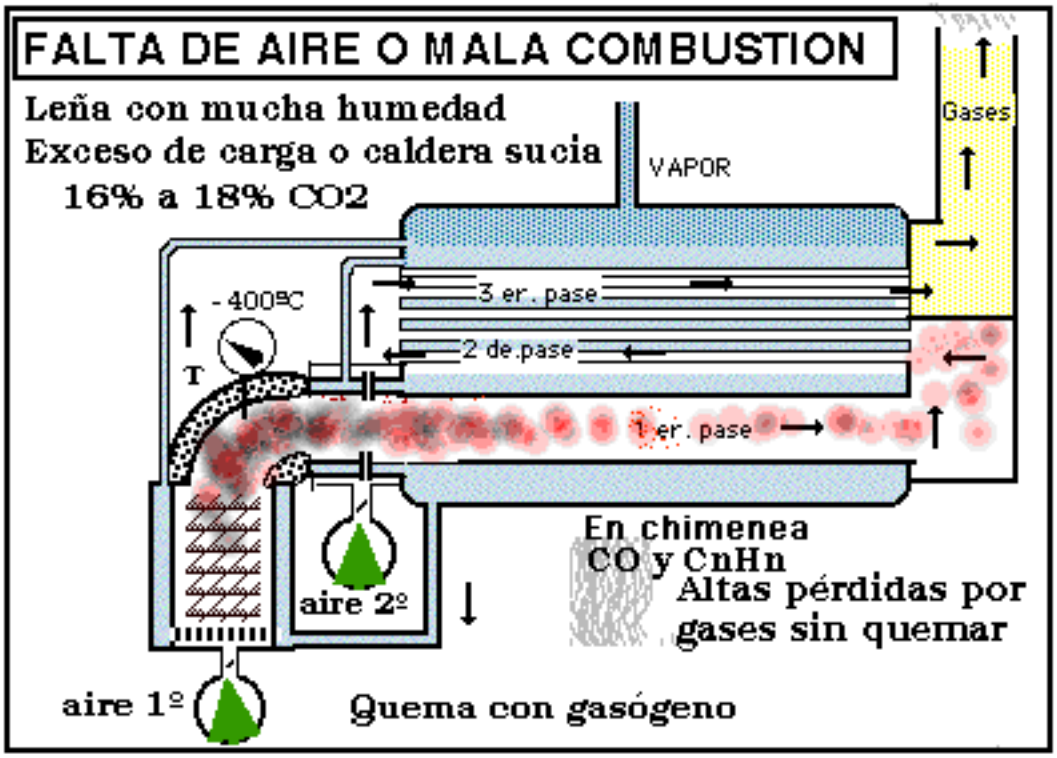


2-**Buena combustión:**

En este caso, **no hay humos**, la **llama secundaria** llega hasta **casi el final del hogar** de la caldera (aunque el final de la llama es casi imposible observar), la **carga** del gasógeno es **correcta** (altura), la temperatura de los gases es de un valor intermedio , el CO2 es más del 14% , el O2 es menos del 6% y **no debe haber presencia de gases no quemados** (CO% igual a cero). El monitoreo de la llama en forma práctica se hace difícil debido a la falta de luminosidad en la combustión secundaria, por lo que se debe tener mucha experiencia para lograr estos valores. La afectan las condiciones que hemos dado en general para la leña, pero la humedad de la leña es menos tolerable (aconsejándose no trabajar con leña con más del 30% de humedad, leña limpia de eucaliptos , preferiblemente sin cáscara).

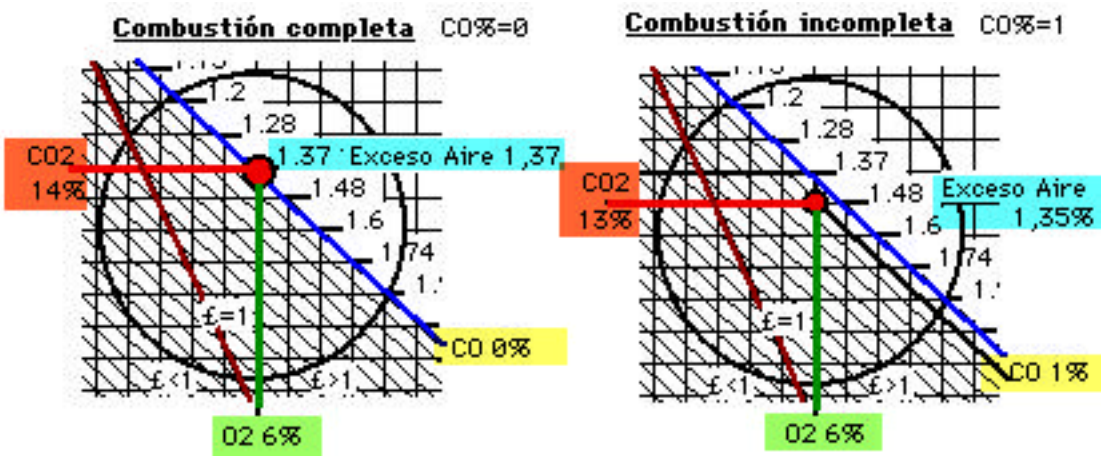
3-**Falta de aire :**

En este caso, se notan **algunos humos blanquecinos** (a veces negruzcos si la falta de aire es muy grande), el CO2 en más del 16% , el O2 es menos del 3,5% y **hay presencia de gases no quemados** (**CO, acompañado por volátiles y alquitranes que tienden a ensuciar la caldera y a "corroer" la chimenea metálica: zonas frías**). La **llama secundaria** se ve "**sucia**", **muy larga** (toca la mirilla posterior). La **causa más común** de esta situación es la **falta de regulación** de los aires y la carga de leña: **sobrecarga**, **humedad de la leña**, **calidad de la leña** (leña sucia, mucha cáscara, etc.), **caldera sucia**. Esta situación hace que en pocos días la caldera se ensucie y pierda capacidad de vaporización y combustión (por falta de transferencia y pasaje de gases, esto se nota al subir muy pronunciadamente la temperatura de chimenea, que hace bajar la Eficiencia de la caldera).



4-**Mala combustión:**

En este caso, a pesar de ser **la cantidad total de aire la necesaria**, por razones de ajustes, **no se logra la combustión total**, quedando **gases sin quemar** que son detectados en la chimenea (CO) y se **produce el ensuciamiento rápido** de la caldera (con elevación de la temperatura de los gases de salida y bajando la capacidad de vaporización de la caldera). Una de las **causas** que más afecta esta condición, es la **humedad de la leña** (más del 30%) que provoca que la **combustión** secundaria sea **muy fría** y necesite **mayor tiempo** en el hogar (llegando al final del hogar sin terminar su combustión). **Otra causa es la sobrecarga** de la capacidad de la caldera y como **la vaporización depende fundamentalmente de la llama secundaria**, ya que en el **gasógeno la transferencia es mínima**. Al verse disminuida la respuesta por esta razón, la caldera tiende hacer sobrecargada de combustión para lograr recuperar la presión, no siendo en estas condiciones la cámara de combustión secundaria lo suficientemente grande como para "dar" el tiempo necesario para finalizar su combustión, sobrando oxígeno y gases sin quemar. Esta característica obliga al encargado de la caldera a permanecer atento a las necesidades del consumo de vapor, siendo necesario que prevenga estas situaciones con antelación.



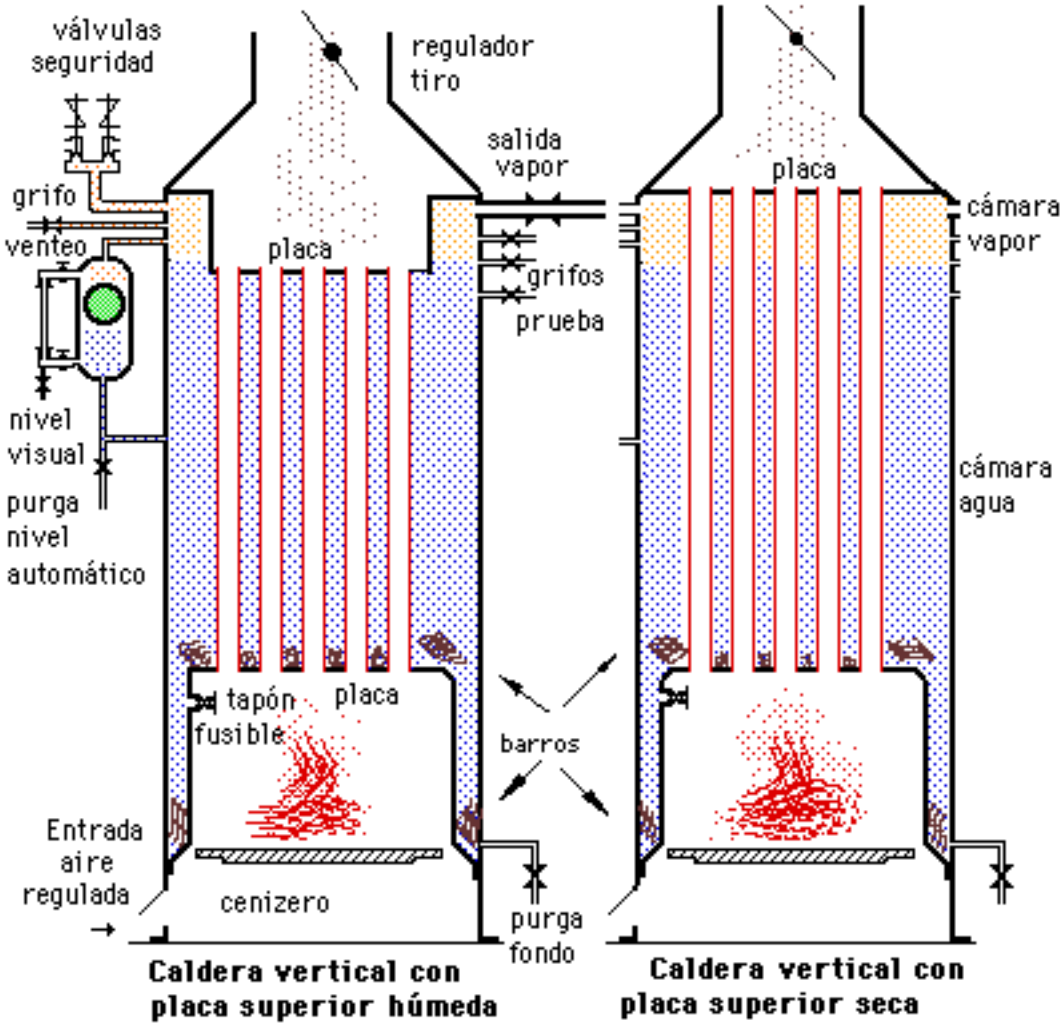
El las gráficas anteriores (partes de un triángulo de OSTWALD de leña) , se indica la condición de combustión completa (CO=0%) y la condición en que la combustión no es completa (CO%=1) aunque sobre el O2 (oxígeno), esto en las calderas a leña y de gases (como el gas natural), **hace que se produzcan pérdidas muy importantes por gases sin quemar (que por cada 1% de estos gases que se midan en chimenea se puede estar perdiendo más de 4% del combustible por la chimenea.**

Para **parar la caldera** se sigue los comentarios anteriores en la quema directa, cuidando que bajo ninguna circunstancia quede leña sin quemar sin ser atendida la alimentación de agua de la caldera, si es necesario volver a prender, tener la precaución de "barrer" los gases y formar gases nuevos antes de prender la llama piloto y dar aire secundario. (Seguir las instrucciones del fabricante).

Al **parar** es conveniente dejar "asentar" unos minutos los barros (la válvula de vapor estará cerrada) y **purgar de fondo** (especialmente el gasógeno que tiende a juntar barros debido a que su circulación no se establece en fase líquida: tipo sifón) y los controles de nivel (como todas las calderas)."

CALDERAS VERTICALES (HUMO-TUBULARES)

Si consideramos las calderas verticales, en este caso **por lo general serán de 1 pase** (un pase de hogar por lo general muy corto y un pase de tubos, aunque antiguamente eran prácticamente solo un hogar cilíndrico vertical con algunos tubos de gran diámetro que "atravesaban" el hogar en forma inclinada, para dejar "caer" los barros, ya que recibían el calor de la llama del hogar y podrían quemarse por falta de enfriamiento al taparse con barros), **ya que el hogar y los tubos tienen la misma dirección** (aunque hay calderas verticales de más de un pase, pero no son muy comunes). Veamos un esquema para la combustión de leña (de un pase) quemando en el hogar de la caldera, y evaluemos su comportamiento en general.



En las calderas a verticales a leña, por lo general de baja producción de vapor (quizás el común sea hasta unos 1.000 Kg./hora) **tienen su ventaja y su contra.**

Su primera ventaja por lo general **es el costo inicial de la caldera** (de menor costo) **y su gran facilidad de instalación** (por lo general solo requieren un piso plano que soporte su peso y una salida para la chimenea en el techo).

Su primera desventaja es el bajo rendimiento o aprovechamiento del calor. Al ser de un solo pase (limitado en el trayecto de los gases), **al ser verticales de un solo pase el tiro de chimenea es muy pronunciado** (aunque se puede regular perfectamente), **el tiempo de "residencia" de los gases en la caldera es muy bajo**, con lo que **la transferencia de calor es baja** y la **temperatura de los humos a la salida de la caldera es alta** (en dos calderas cuya temperatura de chimenea sean diferentes en las mismas condiciones de combustión y combustible, la caldera de menor temperatura en los gases de chimenea tiene mejor aprovechamiento del calor - mayor Rendimiento-porque el calor perdido por la chimenea es directamente proporcional a la temperatura de los gases).

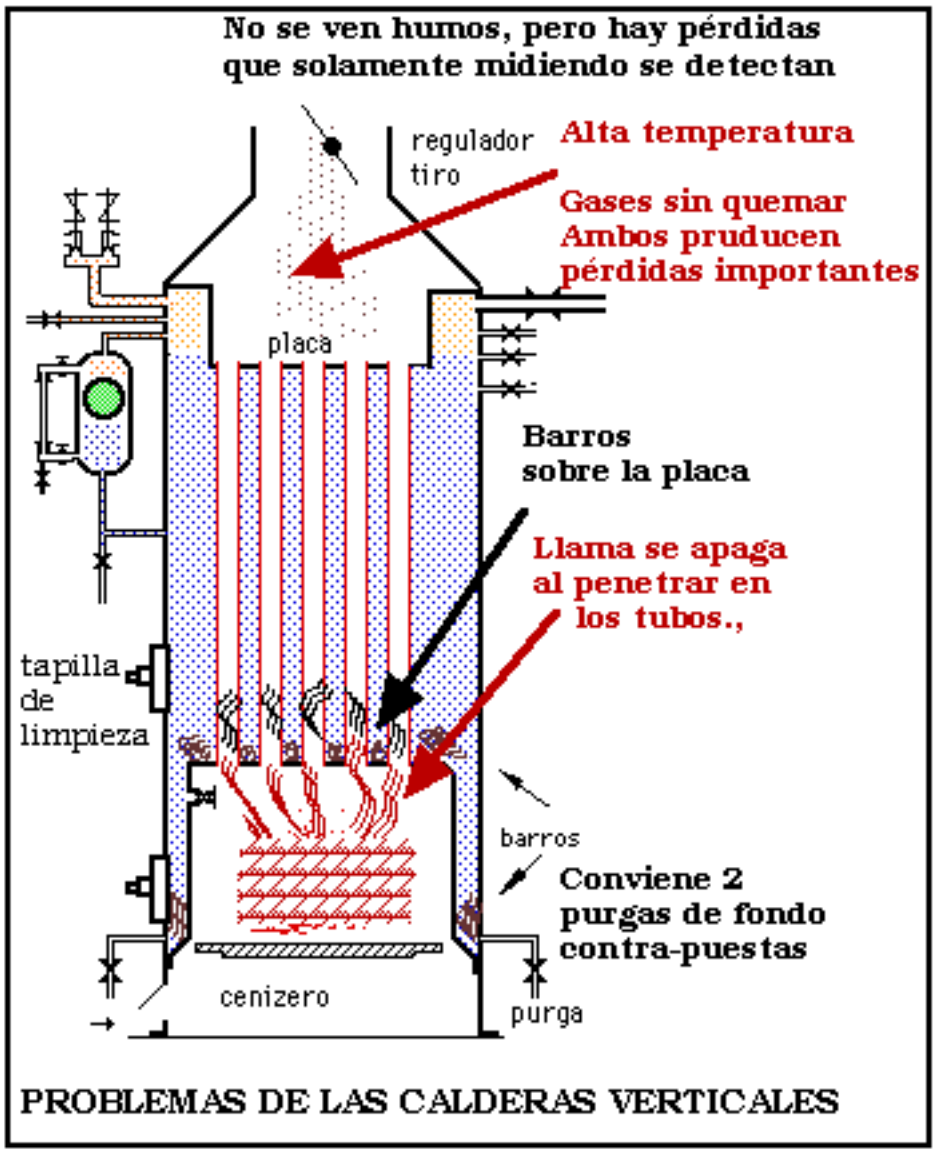
En el caso de la leña, las calderas verticales de un solo pase, por lo general, dan menos de 4 kilos de vapor por kilo de leña seca (con 25% H.b.h., y próximo a los 3 kg/kg. leña en la mayoría de los casos, por la pérdida que explicaremos a continuación).

Pero hay una pérdida que no la tienen en cuenta, es que los tubos están "tan sobre encima" de la combustión que "succionan" la llama (la llama son los gases combustibles de la descomposición de la leña por el calor, gases orgánicos en distinta etapa de transformación, entre ellos el CO), **como hemos dicho, la llama al entrar en el interior de los tubos, se "apaga" y aparece una pérdida muy importante por "gases no quemados"** (que se pueden medir en la chimenea, pero no se observan porque, dado que los gases de leña no dan humo como el F. Oíl, lo mismo pasa con el gas natural y de garrafa).

Esta pérdida por "gases no quemados" en algunos momentos puede ser muy importante (cuando la caldera funciona en cargas altas, cuando tiene "mucha" leña en hogar, cuando la humedad de la leña es alta, cuando se trabaja con poco exceso de aire, etc.). **Decíamos que por cada 1% de monóxido de carbono** (CO) **en chimenea se perdía entre un 5% a un 7% de la leña, pero además la caldera se "achica"** (esto se debe a que la llama pierde temperatura en el hogar por lo que transmite menos el calor, la leña ocupa gran parte del hogar que deja de "absorber" calor al tapar, ensuciar, las superficies de transferencia, la caldera se ensucia rápidamente lo que hace que la temperatura de chimenea suba y se pierda más calor, etc.).

El otro problema que se debe contemplar, es que **si la caldera vertical es de placa "seca"** (la placa superior está en la cámara de vapor, con parte de los tubos sin ser refrigerados por el agua de la caldera) **hay grandes posibilidades de aflojamientos y fisuras de tubos, y fisuras de la placa entre agujeros de tubos.** Este problema ocurre, por lo general, en el momento de puesta en marcha. Al no haber vapor en la cámara de vapor que refrigere la placa y los tubos, en el momento de que está la caldera fría y se pone en marcha, **como hay un gran tiraje, si no se tiene la precaución de hacer una combustión lenta** (suave, tomándose un tiempo para el precalentamiento de la caldera en baja combustión) **la temperatura de los humos es muy alta y produce el recalentamiento de los mandrilados** (y soldadura) **de los tubos sobre la placa, provocando una "fatiga térmica" o recalentamiento que permite que el metal se "queme" o se "ablande", lo que produce el aflojamiento de los tubos o su fisura** (no olvidar que al calentarse la caldera hay diferencias de temperaturas que provocan que las dilataciones hagan grandes esfuerzos entre las placas, tubos y envuelta, hay una simple fisura por esfuerzo o una fatiga de esfuerzos cíclicos que termina en fisura).

Otra desventaja, es que el tratamiento de agua debe ser de tal manera que no haya barros de "precipitación" interna, ya que estos barros caen en parte sobre la placa inferior, que está sometida directamente al calor de la llama, lo que puede traer problemas de enfriamiento de la misma (estos barros son muy difíciles de extraer, ya que la placa esta horizontal y tiene los tubos verticales, que hacen difícil que los barros bajen a la "pollera" lateral, para ser sacados por las purgas de fondo. Conviene que haya dos purgas "encontradas", hacer una limpieza manual cada tiempo, con mangueareado interno, así se mantiene la placa inferior limpia, para ello previendo entradas de mano o cabeza a la altura de la placa inferior y con posiciones encontradas para poder manguerear a toda la placa).



Como vemos en la figura anterior, mostrando los barros depositados sobre la placa inferior (que puede provocar recalentamientos), la placas superior es húmeda (se refrigera) y vemos la caldera que no termina correctamente la combustión (la llama penetra en los tubos y se apaga, **provocando pérdidas por gases no quemados),** vemos que hemos puestos 2 purgas de fondo contra-puestas y tapillas de limpiezas.

En resumen: las calderas verticales son más baratas, pero tienen por lo general un mal rendimiento. Conviene que la cámara de combustión tenga suficiente altura para que la llama no penetre en los tubos. El sistema de "grilla" o "parrilla" puede ser seco o de tubos con circulación de agua (el problema de estos últimos es que si el tratamiento químico produce barros, los tubos se queman al taparse por barros sin no tienen suficiente inclinación y las purgas no lo extraen). Para evitar los barros se debe "ablanadar" el agua (intercambiar las sales que producen la precipitación, generalmente bicarbonatos de calcio y magnesio por sodio) o extraer estas sales con "ósmosis inverso" (o por medio químicos externos).

CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

AIRES Y CHIMENEAS EN CALDERAS A LEÑA

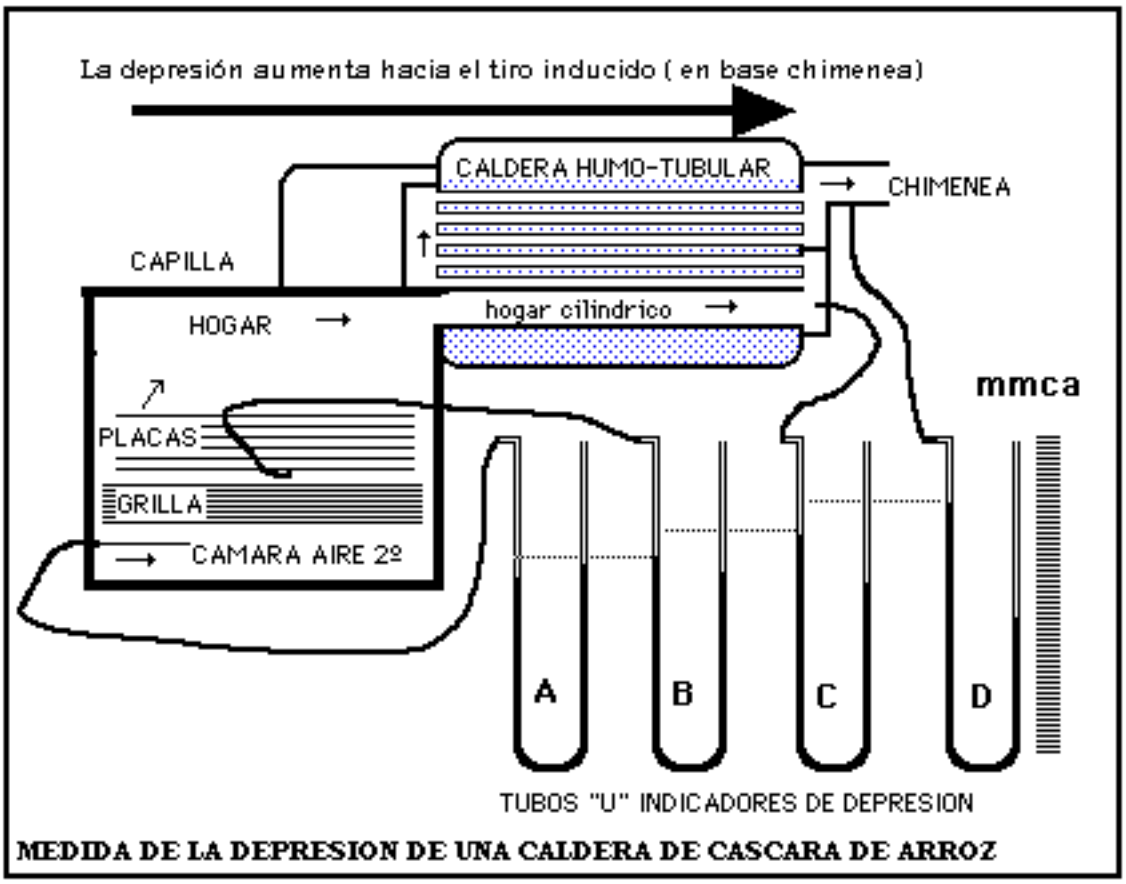
En la combustión a leña, la entrada de aire debido al "tiro" de la chimenea o del ventilador de "tiro inducido", son los que "manejan" la combustión (la leña está en una cantidad muy superior a que se está quemando en forma instantánea, sobre la parrilla o grillas) de manera que **la cantidad de combustión depende de la cantidad de aire que entra en contacto con la leña**, así como **el corte de combustión será el cierre de todo contacto del aire con la leña**, **operación esta última muy importante cuando es necesario parar totalmente la combustión frente a un bajo nivel de agua. Las entradas de aires cuando se cierren en estos casos deben ser muy "estancas"**. Los ventiladores de tiro forzado o las entradas de aire bajo y sobre grilla, **están dependiendo de la depresión del hogar** (por lo general unos -3 a -10 mmca) **y de los ventiladores de aire primario, secundario, terciario, etc.**.

Es muy importante, entonces, antes de entrar a analizar todos lo tipos de calderas a leña, **indicar la forma que los humos de la combustión son "llevados" a la chimenea y como entran los aires de combustión**, porque esto define en buena parte el comportamiento de las calderas a leña, aunque **todas tienen en común que la cámara de combustión están en depresión** (o sea por debajo de la presión atmosférica, de manera que no escapen los gases por las entradas de carga de la leña, mirillas, tapas de ceniceros, etc., esta **depresión se mide por lo general en milímetros de columna de agua** (**mm. c.a. o en milibars** -siendo **1 mbars equivale aproximadamente 10 mm.c.a.**).

Para medir esta depresión (o presión si la hubiera) puede ser medida **disponiendo un tubo en U** de un diámetro de varios milímetros (por ejemplo, Ø **10 mm., cuyas extremidades transparentes, vidrio o plástico, tengan 300 o 400 mm. largo**, con **un extremo libre a la atmósfera** y **el otro a un caño de cobre o similar** (por ejemplo: de 1/4" o próximo), **que se conectará por un agujero bien sellado a la cámara o caja de humos a medir**, si no se puede sellar bien, **introducir el caño de cobre en el interior de la cámara, de manera de estar en el "seno" de la cámara a medir)**, lleno de **agua** (con **unas gotas de alcohol** y si se quiere con un poco de un colorante, tinta o similar). El extremo conectado a la caldera, si hay depresión, tratará de "succionar" el agua hacia ese extremo (en realidad es la presión atmosférica que "empuja" el otro extremo, debido a que su presión de aire es mayor que la cámara en depresión), si hay presión de aire en la cámara, el efecto es a la inversa.

La diferencia medida entre la parte paralela de la U, en forma vertical (como "plomada") medida en milímetros (con una regla o metro) es la depresión (en mm.c.a.)**.**

En una cámara de combustión será por lo general de -4 mm. c.a. hasta unos -10 mm.c.a, pero a medida que nos aproximamos a la chimenea o al tiro inducido, la depresión aumenta (hay más "vacio" o sea mayor tiro). **Cuando el tiro es natural esta depresión por lo general es baja** (en la base de la chimenea podrá ser de unos -10 mm.c.a. hasta unos -20 mm.c.a, si la altura de la chimenea es más alta y la temperatura de los gases es más elevada. Con un ventilador de "tiro inducido" puede ser muchísimo más elevado, pudiendo en la entrada del ventilador variar entre -50 mm.c.a. a más de -250 mm.c.a, dependiendo del tipo de ventilador, revoluciones por minuto y diámetro del rotor, etc, y de como esté regulado la entrada de aire en la cámara de combustión o las penetraciones por pérdidas en las tapas juntas de la cajas de humo).



Como vemos en el gráfico anterior, la depresiones aumentan hacia el tiro de la chimenea (natural o inducido).

1-Tiro natural:

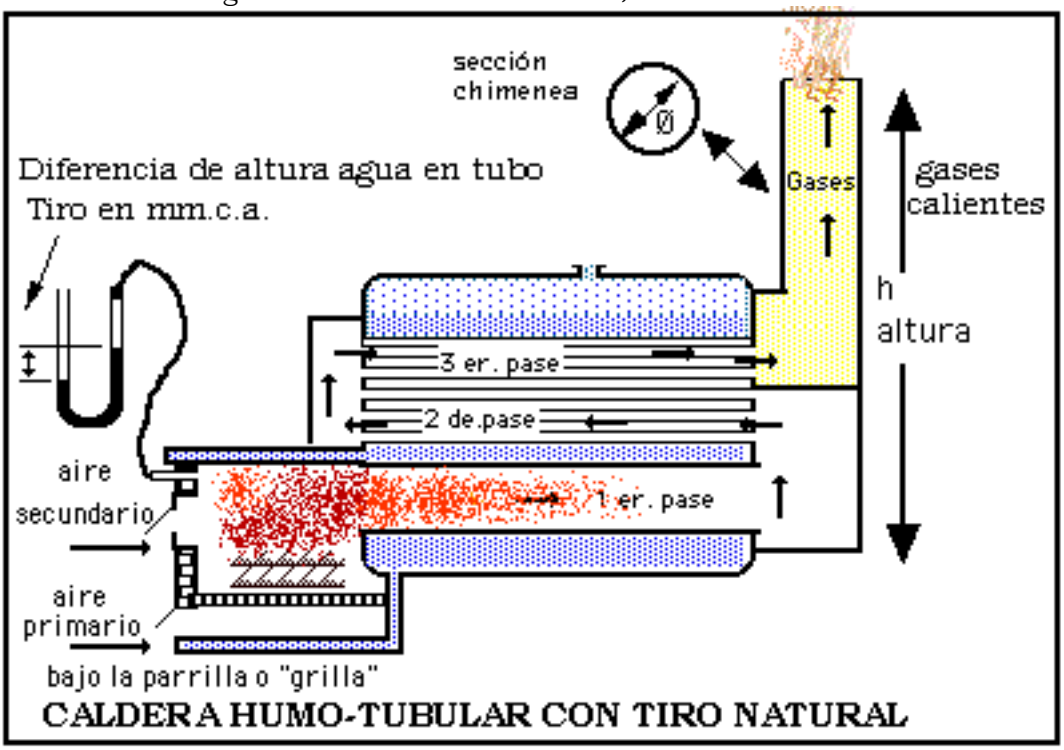
El tiro natural, como lo dice, es el "vacio" que tiende a provocar en la base de la chimenea los gases más calientes que van por el ducto de la chimenea (en realidad, es la presión atmosférica que empuja el aire hacia el interior del hogar de combustión al desplazarse el aire más caliente por lo chimenea en forma vertical, dado que el aire a medida que se calienta disminuye su peso: densidad, es así que un aire de una sala de caldera puede pesar unos 1,3 Kg./m3 pero al calentarse a la temperatura de salida de la caldera o entrada de la chimenea, bajar a unos 0,525 kg por m3. a una temperatura 400ºC, aunque por lo general la temperatura de chimenea es de unos 250ºC a 350ºC en las calderas de tiro natural).

La intensidad del tiraje es igual a la diferencia entre el peso de un volumen de aire atmosférico igual al de la chimenea, con la de los gases calientes que contiene la misma. Por esta razón, cuanta más alta es la chimenea (si los gases no se enfrían y el diámetro de la chimenea es adecuado), mayor será el "tiro" en la base de la chimenea (regulándose en la chimenea por medio de un "válvula de mariposa" o haciendo penetrar aire frío del exterior, de manera de mantener una depresión o "tiro" adecuado en hogar de combustión). No hay que olvidar que el volumen de los gases necesitan tener una sección en la chimenea, para pasar, que si la chimenea se "ensucia" y este pasaje se achica, la caldera pierde "tiro" y la combustión no se activa lo suficiente (la caldera pierde capacidad de producir vapor). La entrada de aire primario y secundario (o terciarios) se regula junto con el tiro, por medio de válvulas de "mariposa" o "persianas", bajo el cenicero, sobre la parrilla, etc..

Podemos decir que una chimenea de 10 m. de altura, cuando los gases tienen 250ºC de temperatura promedio, el tiro teórico en la base es de -5,4 mm, c.a., si doblamos la altura a 20 m. el tiro será el doble o sea -10,8 mm.c.a., lo mismo podemos decir de la temperatura, si aumentamos a 300ºC en ambos casos de altura tendremos -6 mm.c.a. y -12 mm. c.a, pero si se enfría la chimenea en invierno a 150ºC el tiro baja a -3,8 mm.c.a. y -7.6 mm. c.a.. **Estos valores teóricos, son los que obtendríamos si cerramos la entrada de aire a la caldera** (y no hay otros aires de penetración por pérdidas), **en ese momento, un instante antes que baje la temperatura en la chimenea, se produce el "tiro teórico". Pero al abrir los aires primarios y secundarios, el "trabajo" de hacer "circular" el aire y luego los gases, a través de las distintas secciones de la caldera** (en donde hay restricciones, como la parrilla, los tubos, regulaciones,etc.) **en donde hay un "trabajo restrictivo", perdemos parte del tiro teórico y tendremos el "tiro real" o sea el que mediremos en el hogar** (también hay una energía o trabajo gastado en la propia circulación de los gases, energía que luego será la que permite elevar los gases a la atmósfera).

Conclusión: si la chimenea es baja, tiene poca sección (hay trabajo gastado en vencer la falta de sección), **o los gases se enfrían, el tiro será "poco" y por lo tanto, la caldera tiene mala combustión y poca "respuesta"** (al aumento de producción de vapor). Especialmente al quemar leña con mucha humedad se necesita un "buen tiro", ya que necesita más aire que la leña seca y por lo general el hogar está más cargado de leña para compensar la falta de combustión.

Por eso la chimenea debe tener la sección adecuada (diámetro), la altura y la aislación a lo fríos del invierno (vientos fríos que la enfrían a los gases en el tramo de chimenea).



CALDERA HUMO-TUBULAR CON TIRO NATURAL

En el tiro natural, por lo general el aire primario y secundario, también entran por la depresión que hay en el hogar (es decir, no es "empujada" por un ventilador, si no que es "succionado" por la depresión que tenemos en el hogar), por lo cual la cantidad de aire que entra depende de la "apertura" de la entrada del aire y del valor de la depresión en el hogar (a mayor depresión, mayor "fuerza" para que entre el aire de la sala). **De esta manera se regula la cantidad de combustión, ya que la cantidad de leña en el interior de la caldera permanece constante, la cantidad de combustión o fuego depende de la cantidad de aire primario** (bajo grilla o parrilla, o tubo de hogar en algunos casos), **y secundario** (el aire secundario es el que entra por encima de

la grilla, o en muchos casos, el sobrante de la propia parrilla, que se utiliza para "terminar" la combustión iniciada por el aire primario, que también tiene un exceso, el de la parrilla, que muchas veces suficiente para la combustión total).

Esto significa la importancia que tiene la dimensión de la chimenea en altura, sección y que no se enfrien los gases, pero también en el hecho que no entren aire por filtraciones en partes no útiles para la combustión (bocas de carga, tapas de limpiezas, forros del hogar, tanto refractario como de tubos, cajas de humos, base de chimenea, etc.).

En algunos casos puede que el aire primario, pueda ser "empujado" por un ventilador (pero siempre con depresión en el hogar). **En este caso, se mantiene la depresión en el hogar constante y se varía la cantidad de aire "empujado" por el ventilador primario.**

2-TIRO FORZADO (o "TIRO INDUCIDO").

Como las calderas de tiro natural no disponen de un gran "tiro" por las limitaciones (altura y sección de chimenea, necesidad de temperatura alta de los gases lo que significa una pérdida de Eficiencia, dado que los gases calientes se llevan el calor que podríamos utilizar para mejorar el rendimiento), las **calderas de tiro natural por lo general son de uno o dos pases de gases** (como las calderas verticales de un pase, o calderas humotubulares de dos pases o calderas acuotubulares de de 2 pases (antiguas calderas seccionales con tubos semihorizontales).

Como en las calderas se debe aprovechar al máximo el calor producido, "achicar" al mínimo el tamaño de la caldera (haciéndola más Eficiente con menos material), **se deben aumentar los pases de gases, poner recuperadores de calor** (como ser economizadores o sea: calentadores de agua de alimentación u otros usos, calentadores de recuperación para calentar el aire de combustión), **o aumentar la "velocidad de respuesta" a los cambios de consumo de vapor**, **todo esto hace que el "tiro natural" ya no sirve, por lo que se utiliza el "tiro forzado"** (succión e impulso, de los gases calientes por un medio mecánico)**.**

Por tiro "forzado" se pueden denominar una serie de sistemas en que el aire es forzado (como el antiguo caso de las salas de calderas presurizadas, generalmente en aplicada en los barcos, empujan el aire e impiden que los gases salgan a la sala de caldera) **o succionando los gases por medios mecánicos** (ventiladores) **o por medio de inductores de aire o de vapor** (como en el caso de las locomotoras que se hace un tiro con un inyector de vapor como si fuera un "venturi" o sea, se descarga en una sección más estrecha de la chimenea un "chorro" de vapor por medio de una tobera, este vapor "arrastra" los gases, haciéndolos tomar más velocidad, lo que obliga a aumentar la capacidad de la chimenea y por lo tanto el "tiro" en su base, tal como sucede en las películas en que aparecen "locomotoras" a vapor, cuando hacen fuerza se ve la chimenea con humos muy sobrecargada, el vapor que se usa por lo general es de la descarga de los propios cilindros o pistones de la máquina, de manera de no gastar vapor extra, ya que el agua del vapor no se recupera).

Pero, en nuestro caso, por lo general, llamaremos "tiro inducido" cuando un ventilador (extractor, mecánico, movido por un motor eléctrico o a vapor: turbina o máquina alternativa) **colocado entre la caldera y la chimenea** (o entre los recuperadores de calor y la chimenea), "**succionan" los gases y los "empujan" a la chimenea.**

La combinación del "tiro inducido" y el "aire forzado" (o "forzador": aire forzado bajo grilla, secundario y terciario), **permite recuperar el calor de los gases de chimenea, facilitar todo el aire de combustión en todas las condiciones, poner todos los pases y recuperadores, manteniendo las succión en todas las secciones, de manera que no haya pérdidas de gases a la sala** (especialmente en leña esto es fundamental, ya que la leña debe ser cargada por una entrada expuesta a la sala de calderas y porque los gases de leña pueden ser contaminantes e inclusive "venenosos" por la presencia de CO—monóxido de carbono—que es tóxico por acumulación). **En las calderas a leña, no se debe permitir que los gases de la combustión contaminen los locales en donde trabaja el personal** (por el CO que puede existir en algunas circunstancias o etapas de combustión, habiendo otros gases "no quemados" que pueden ser perjudiciales para la salud).

Por lo general el "tiro inducido" (ventilador en chimenea), **mantiene en forma automática** (o manual) **la depresión en la cámara de combustión** (próximo a -4 mm.c.a. hasta unos -10 m.c.a), **variando su capacidad por medio de una válvula de gases** (persianas o mariposa en la entrada del ventilador) **o variando la velocidad del rotor del ventilador** (por medio de un variador mecánico o un variador electrónico de frecuencia de la corriente eléctrica alterna que alimenta el motor del ventilador, haciendo variar su velocidad de rotación o rpm),

esto permite mantener la depresión a distintas cargas y lo que se varía para aumentar o bajar la combustión son los ventiladores de aire primario, secundario y terciario (el tiro inducido acompaña el caudal de estos ventiladores **manteniendo la depresión pre-establecida** en el hogar).

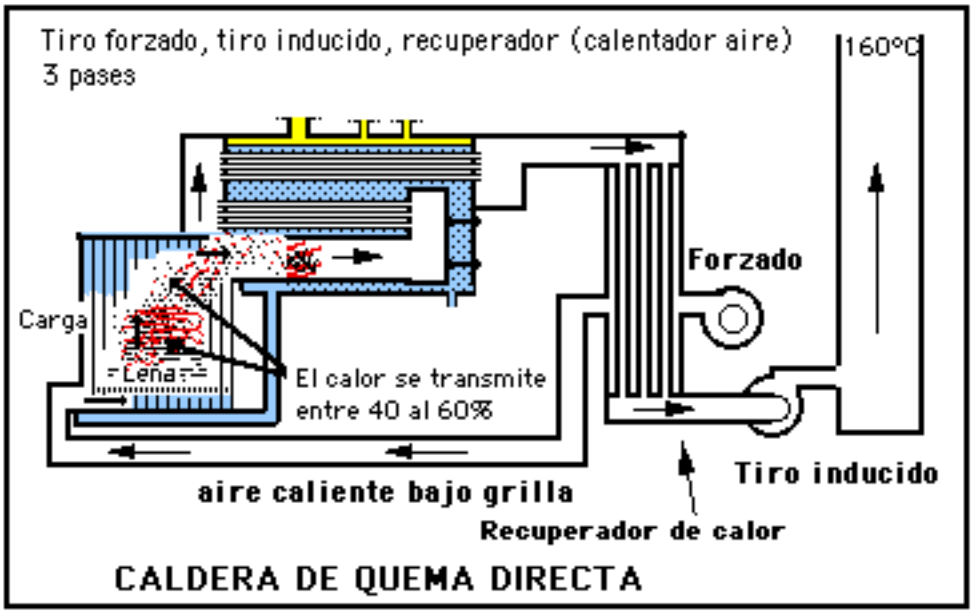
Cuando la caldera solo tiene "tiro inducido", la capacidad de combustión se hace por medio de la depresión del hogar que provoca el tiro inducido (aumentando o disminuyendo el tiro según aumente o disminuya la necesidad de aire de combustión, acompañando a esto con la regulación de los aires primario y secundario, por medio de su regulación a la entrada al hogar).

EN LOS SISTEMAS DE "TIRO INDUCIDO" NO SE DEBE ABRIR LA ENTRADA DE CARGA DE LEÑA O LAS MIRILLAS CUANDO EL TIRO INDUCIDO ESTA APAGADO. Si el tiro inducido está apagado, el hogar está lleno de "**gases a medio quemar"**, lo que al abrir una entrada de aire, entra oxígeno que se mezcla con los gases sin quemar y **puede provocar una explosión de hogar y/o salir una "llamara" de fuego hacia la persona que abrió la mirilla o la compuerta de carga.**

ESTO ES MUY PELIGROSO.

En algunos casos, conviene disponer un **sistema de seguridad que impida la apertura de la tapa de carga de leña si el tiro inducido está pagado** (**especialmente en la quema de "aserrín"**). Siempre **conviene que tiro inducido apagado permita un pequeño venteo de gases a través del ventilador para el "barrido" de los gases** (pequeña depresión en el hogar que impide que salgan gases a las sala de caldera, especialmente cuando los aires primario, secundarios y terciarios no cierren bien o se apaguen, incluyendo al tiro inducido, al cortar por alta presión de vapor como debe ser y siga entrando algo de aire o al apagarse por cualquier razón el tiro inducido. Este barrido asegura que no escapen gases como el CO a la sala, **aunque esta pequeña entrada de aire provoca que haya una pequeña vaporización,** o sea que la caldera no "apaga" totalmente, pero por lo general esto no representa un problema si no hay un bajo nivel importante).

Los tiros inducidos por lo general son comandados por un sensor de la depresión en el hogar de combustión (que mantiene la depresión entre -4 mmca y -10 mmca), y los tiros forzados son comandados por presóstatos que van conectados a la presión de vapor, **habiendo un presóstato de corte para el corte por alta presión vapor tanto para los tiros forzados como para el tiro inducido** (**bloqueando este último a los ventiladores de tiro forzado de manera de evitar que haya presión positiva en el hogar de combustión**, es decir, que nunca se puedan prender los tiros forzados si no hay la depresión suficiente en el hogar). Ver más adelante: Presóstatos (presióstatos).



En el croquis anterior, vemos, una caldera de "quema directa" con **aire forzado** (bajo grilla), con **tiro inducido** (entre el recuperador de calor y la chimenea), 3 pases, con cámara de combustión ("capilla" o sea cámara de combustión acuo-tubular), con recuperador en gases de chimenea (para calentamiento del aire primario y secundario, esto mejora la Eficiencia o rendimiento y mejora la combustión notablemente con el aire caliente). En este caso hemos puesto "fondo húmedo", pudiendo ser "fondo semi-húmedo o húmedo, acuo-tubular o sea "capilla trasera.

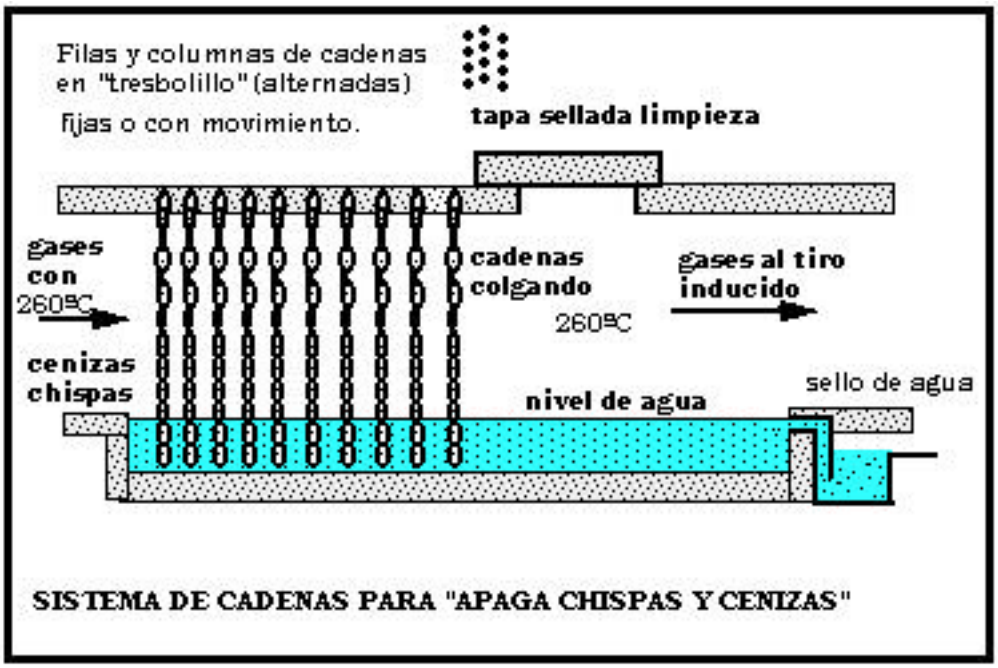
ARRASTRE CENIZAS Y "CHISPAS"

El arrastre de cenizas y "chispas" (trozos en combustión o "brasas"), puede ocurrir en determinadas condiciones, especialmente cuando hay **tiro inducido** (y aumentada la posibilidad al tener aire "forzado" bajo la parrilla), **cuando se aumenta la producción de vapor o cuando la caldera está en un alto régimen de combustión.** Cuando la carga (grado de combustión) de la caldera es alto, por lo general, en cualquiera de los dos sistema (quema directa o gasógeno), se produce un "arrastre" de materia (cenizas y trozos de madera encendida, brazas) debido a la alta velocidad del aire entre las grillas y la mismos rolos que forman la "cama de combustión". Esto es más grave, cuanto más cenizas tenga la leña (aumenta con las cáscaras) y en el caso de las cáscaras (como **la cáscara de arroz, la ceniza es de más del 20%**), se produce más arrastre.

La ceniza es un contaminante en el ambiente (especialmente cuando es sílice como la cáscara de arroz), pero l**as "brasas" encendidas pueden ser un "peligro" de incendio** en las proximidades de la calderas (especialmente en fábricas con inflamables).

Para evitar el arrastre de cenizas y "brasas", la operación del foguista sobre la caldera y la calidad de la leña son fundamentales, pero esto por lo general en algunos casos no alcanza, por lo que hay que instalar elementos que "atrapen" la ceniza y las "brasas" (en este último caso lo llaman "apagachispas", pero no haremos diferencia).

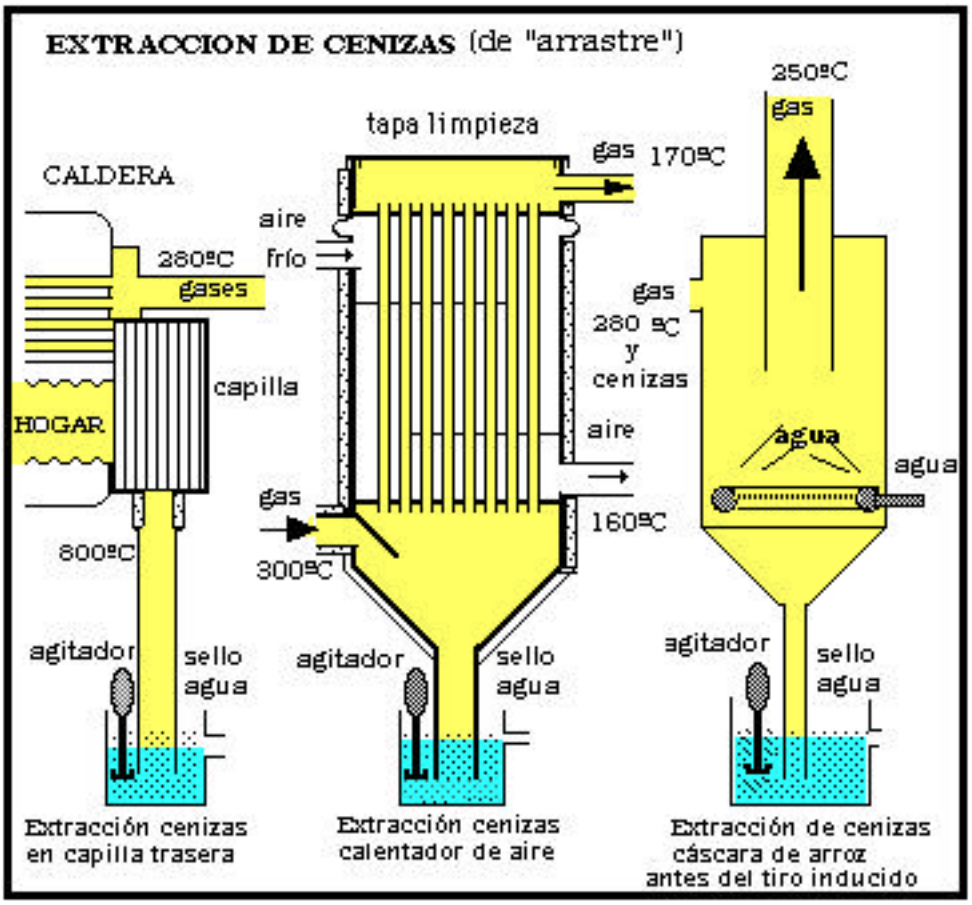
Lo más elemental, es hacer una base de chimenea y chimenea de "baja velocidad", el segundo sería ante-poniendo al tiro-inducido un "túnel" con una pileta inferior con cierto nivel de agua (que hay que limpiar cada tanto) **y con cadenas "colgando" desde la parte superior, casi tocándose una cadena con la otra y puestas en "tresbolillo"** (o sea, alternadas, que obliguen a los gases a chocar con las cadenas. Los materiales arrastrados pegan contra los eslabones, puestas las cadenas en varias filas y columnas (alternadas en "tresbolillo"), si el sistema de cadenas tiene la posibilidad de un movimiento manual cada tanto, mejor, para "desprender" la materia pegada a las cadenas).



SISTEMA DE CADENAS PARA "APAGA CHISPAS Y CENIZAS"

A todo esto, el paso siguiente es poner entre el tiro inducido y el último recuperador: un <u>multiciclón</u> (pequeños ciclones en paralelo, de alta velocidad, de material que resista la abrasión, que descargan la ceniza a una cámara común sellada, el problema a este sistema es el alto costo).

En el caso de la cáscara de arroz, he diseñado un sistema de "baja velocidad" con la parte inferior central con una lluvia de agua para atrapar las partículas (esto ha funcionado muy bien, pero debe diseñarse cuidadosamente, además que la zona de "abrasión" sea de un material "duro" y cambiable, el agua solo "moja" la zona inferior, zona en donde la densidad de partículas es mayor, "cayendo" el material separado por el agua a un "sello de agua" con la pileta limpiable en marcha, los gases no deben enfriarse con el agua, ya que esto haría que luego al salir por la chimenea no se eleven por falta de temperatura, es necesario que se eleven para diluirse en la atmósfera y no queden sobre la zona de descarga, ya que son gases con muy bajo contenido de oxígeno (O2), alto contenido de anhídrido carbónico (CO2)y con la posibilidad que tenga monóxido de carbono (CO)-tóxico- y otros "gases no quemados" no convenientes para la salud, este concepto debe ser tenido en cuenta con cualquier combustible).



A todo esto, se puede disponer que haya separadores en las propias cajas humo (aprovechando que baja la velocidad de los gases y hay un cambio de dirección, poniendo en la parte inferior un ducto de descarga con un "sello de agua" y cuya pileta sea limpiable, hay que tener cuidado que la primer parte del ducto está en contacto con gases a más de 800ºC, por lo que la primera parte del ducto debe tener refractario y aislación, siendo conveniente que la parte en contacto con el agua sea de inoxidable o todo el ducto si se quiere una larga duración).

Uno de los problemas, de todos los separadores, es sellar la "caja" de recolección del material (cenizas y materias incandescentes), yo prefiero que estos sellos se hagan con "sellos de agua", por ser más efectivos y a su vez apagan las chispas que caigan (aunque por lo general son del tipo "seco", que al no cerrar bien sus tapas, se producen filtraciones de aire que vuelven a introducir el material separado al sistema del tiro inducido).

En la literatura se podrá encontrar otra serie de ideas de sistemas que se pueden aplicar, he puesto los sistemas que hemos aplicado, en cada caso en particular, buscando bajar costos y que sean aceptables sus resultados.

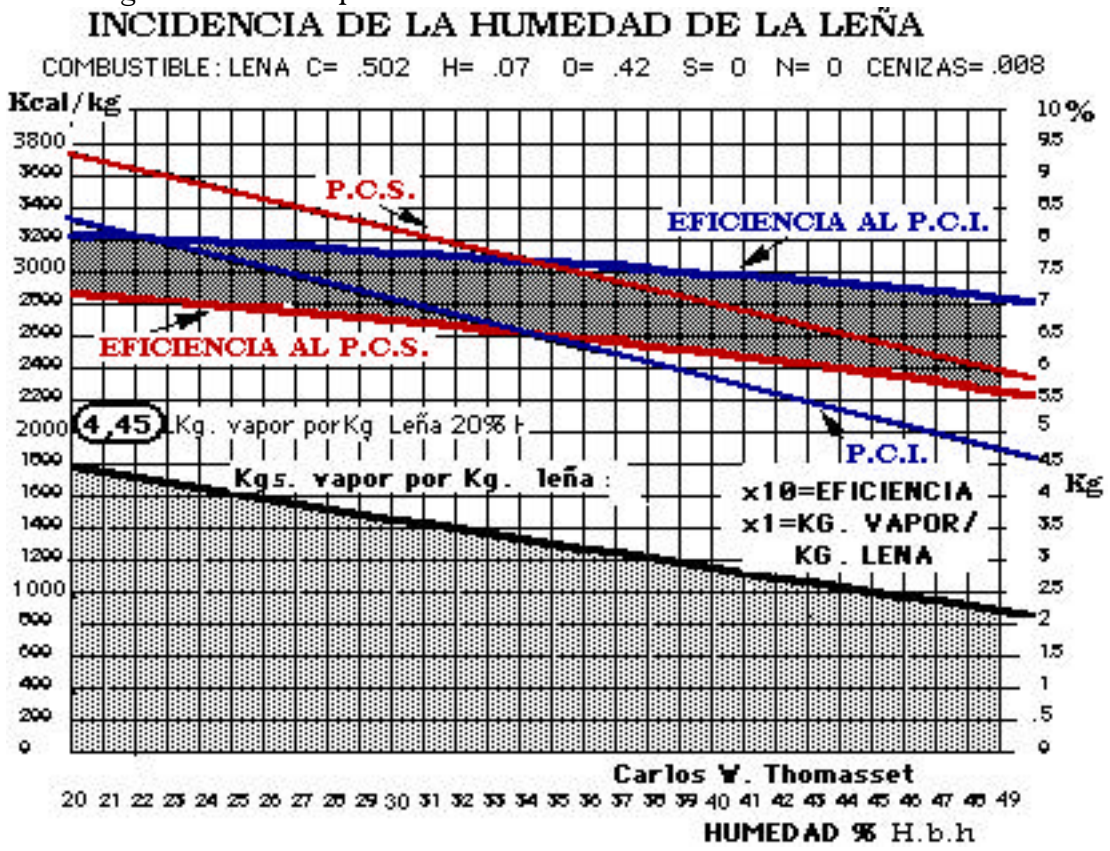
En general, hay que evitar que el ventilador de tiro inducido sufra el impacto de las cenizas (hay abrasión, el caso de la cáscara de arroz es muy severa), **por lo que es aconsejable que el rotor del ventilador y algunas zonas de la envuelta de la caja del ventilador, sean protegidas por material más duro** (así sean por capas de soldadura al cromo-niquel en las zonas más perjudicadas, o haciendo "cordones" que separen la "vena" de gases del impacto a las superficies).

En el caso de la cáscaras, cuando las cenizas tienen mucha sílice (caso del arroz), evitar que salga por la chimenea es muy importante, ya que esta sílice al ser "respirada", puede provocar enfermedades pulmonares (caso de la "silicosis" u otras).

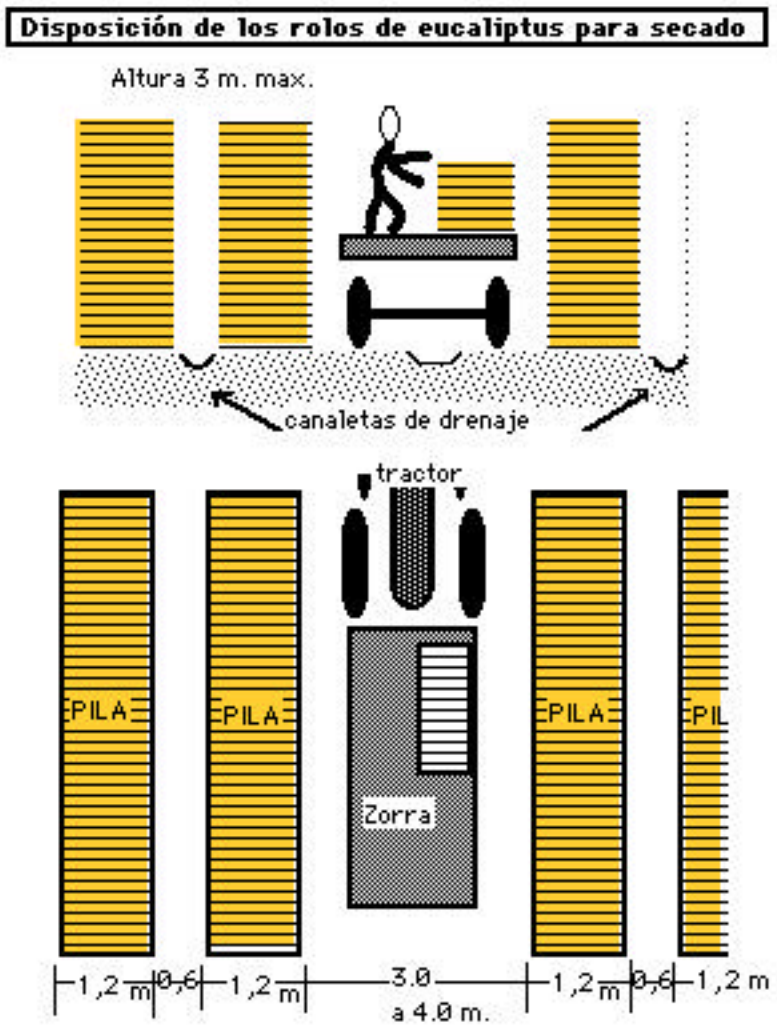
CURSO: GENERADORES DE VAPOR (CALDERAS)

SECADO DE LA LENA:

Veamos la importancia del contenido de humedad de la leña (expresada en base húmeda) en los valores relacionados con la generación de vapor.


INCIDENCIA DE LA HUMEDAD DE LA LEÑA
COMBUSTIBLE: LENA C= .502 H= .07 O= .42 S= 0 N= 0 CENIZAS= .008
Kcal/kg
P.C.S.
EFICIENCIA AL P.C.I.
EFICIENCIA AL P.C.S.
4,45 Kg. vapor por Kg Leña 20% H
Kgs. vapor por Kg. leña :
P.C.I.
x10=EFICIENCIA
x1=KG. VAPOR/ KG. LENA
Kg
Carlos W. Thomasset
HUMEDAD % H.b.h

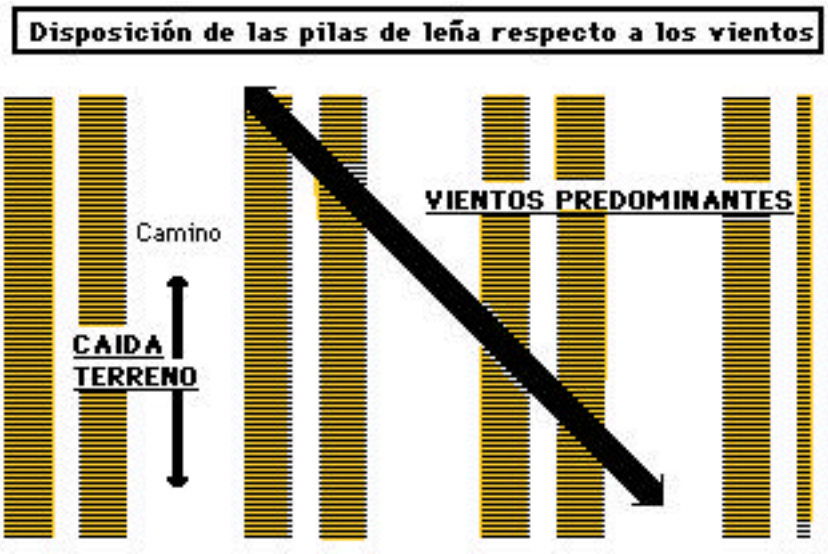
En **el gráfico anterior** (a la **izquierda** en las ordenadas, las Kcalorías de los **P.C.**, en la **derecha**, las ordenadas **x10** las **Eficiencias** y por **x1**, los **Kg. de vapor por Kg. de leña**, como abscisas la humedad de la leña en base húmeda: **H.b.h**.), vemos que la humedad de la leña entre 20% H.b.h. a 49%H.b.h., los Poderes caloríficos bajan en una curva descendente (disminuyendo más el P.C.I. debido al contenido del agua por la humedad que aumenta), que hace que la Eficiencias también bajen. **Esto se refleja más en que con una humedad del 20% H.b.h. se producen 4,45 Kg. de vapor por Kg.Leña, pero cuando la humedad aumenta al 49% H.b.h., solamente se pueden producir unos 2,25 Kg.vapor por Kg. de leña** (hemos supuesto que el exceso de aire es el doble que la humedad en %, operando una caldera con valores que se han mantenido constantes, salvo el exceso de aire).



El secado de la leña es muy importante, ya que la misma puede al ser mal estacionada, no sólo lograr un mal secado (la humedad no baja en el tiempo previsto), sino que se pueden producir pérdidas de diversa índole: putrefacción biológica ("ardido", "fermentación",etc.), pérdida de volátiles ("destilación"), pérdida por ataques de insectos, etc. Debido a todos estos factores, la leña se debe secar en el mínimo tiempo y en las mejores condiciones para que las pérdidas sean mínimas, para ello es aconsejable seguir los esquemas anteriores y siguientes.

Los vientos son fundamentales para el secado de la leña, ya que "seca" más una corriente de aire que la presencia del sol sobre la leña (sólo la leña en la parte superior recibe el sol). Por lo tanto debemos **disponer las pilas en una orientación en que los vientos predominantes las atraviesen por el interior de los rolos y de las pilas**.

De la misma manera debemos drenar todo el estacionamiento para que no se acumule agua. Evitar el "enyuyamiento" de las pilas, usando para ello un "matayuyos" o limpiando cada tanto. Y también no está demás utilizar algún insecticida que sea efectivo para eliminar insectos "comedores o depredadores de la madera" (la utilización de estos elementos deben ser consultados a Ing. agrónomos).



Rolos cortos o astillones bien estibados para secar

Rolos cortos o astillones mal estibados para secar.

No se debe "apilar" la leña a secar en montones en forma de que no circule el aire (el caso en que la misma se tira desde los camiones, tanto sea por el hombre como utilizando la volcadora del camión). Dejar el campo de secado libre de árboles en su perímetro o en su interior.

Las pérdidas pueden ser tan grandes como el 30% o **más** del valor calorífico de la leña secada en buenas condiciones.

QUEMA DE LA CASCARA DE ARROZ

La cascara de arroz, sin otros usos prácticos de valor (en este país) es un combustible con un poder calorífico bastante bueno (**con 10% humedad b.h. el P.C.S. 3.100 Kcal/Kg y P.C.I. 2.800 Kcal/Kg**). El problema mayor es que en su constitución, al quemar, tiene una gran cantidad de cenizas (**principalmente sílice, más del 20%**). La sílice más común que vemos a diario es la arena. Esta sílice, al quemar a las altas temperaturas en la que se quema la cáscara, forma pequeñas cascarillas semi-fundidas, de aspectos blanquecina vidrioso, muy volátil y **abrasivo**. Esta sílice es especialmente abrasiva con la corriente de gases en el interior de la caldera, provocando **corrosión por erosión**, en las zonas de cambio de frente, ayudada cuando las condiciones químicas de la combustión no son adecuadas y además con la presencia de un pequeña cantidad de **azufre en la cáscara que provoca una corrosión del tipo ácida-abrasiva.**

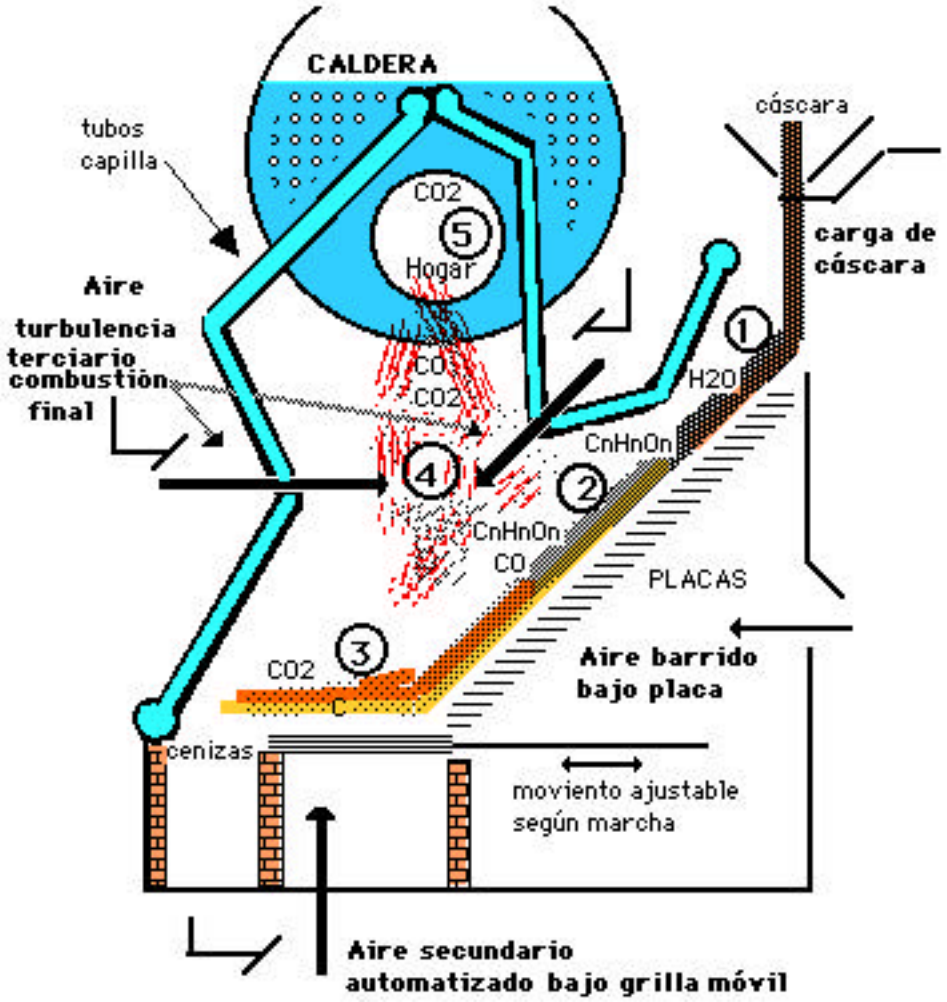
La **humedad** con que se maneja la cáscara de arroz para quemar es baja, aproximadamente **en el entorno del 10%**, esta baja humedad es la que hace que su poder calorífico sea casi igual a la leña con un 25% H.b.h. (cuyo contenido de humedad es difícil que baje del 20% H.b.h.).

El **contenido de carbono** está en el entorno del **40%** , su contenido de **hidrógeno** es bajo, **menos del 5%** .

Como hemos visto, con su poder calorífico, compite perfectamente con la leña, pero su problema es la combustión: gran cantidad cenizas, es volátil la cáscara y la ceniza (un problema de abrasión y contaminación atmosférica), pero **además se debe lograr la combustión completa, tanto que por lo gases de chimenea no vaya gases sin quemar, ni quede en la ceniza una cantidad de carbono calcinado** (una ceniza de aspecto negro, en vez de una ceniza blanquecina).

Su combustión se ha encarado de varias formas : en lechos (caso Uruguay) **, en cámaras de alta temperatura** (tipo ciclones o cámaras torsionales, U.S.A., Brasil, etc.). En Uruguay , la firma TURBOFLOW URUGUAY S.A., a construido calderas del tipo de lechos de combustión desde hace más de 20 años (calderas de 6 a 10 tn/h, del tipo humo-tubular con capillas).

Veamos en forma esquemática un lecho:

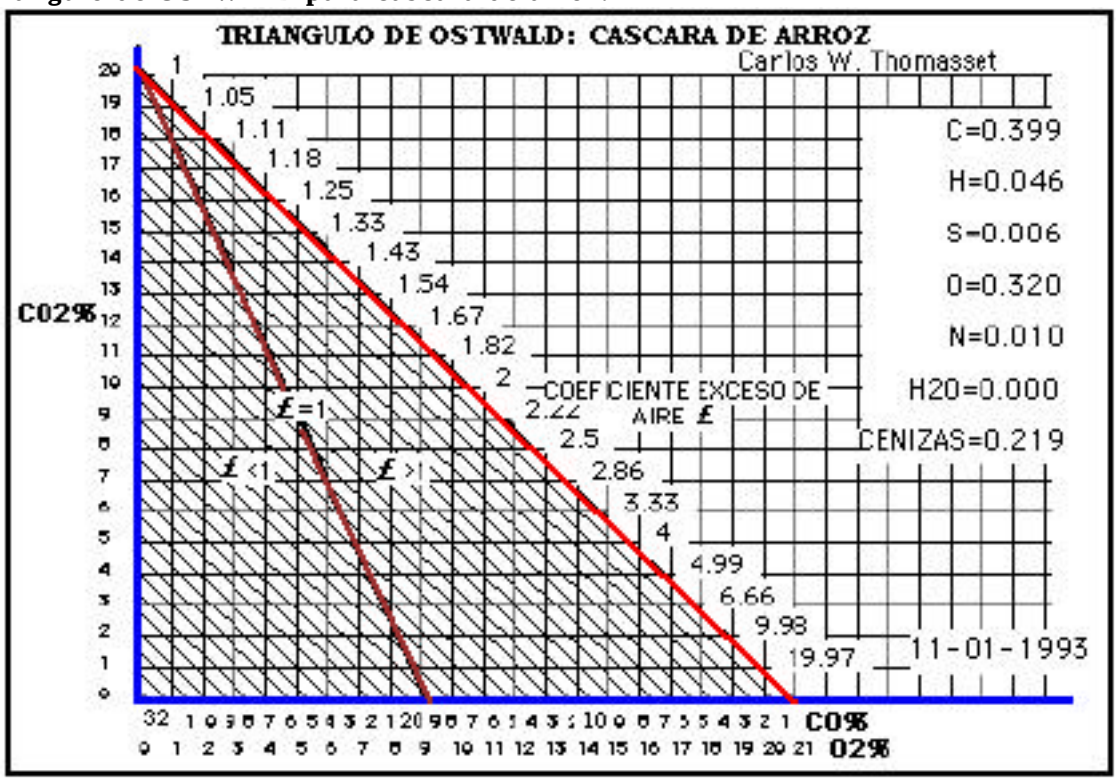


Este hogar para quemar cáscara de arroz, está formado por una cámara de combustión con la parte superior y parte de los costados con tubos con aletas (soldadas a los tubos) y estas entre sí, sellando mecánicamente el escape de gases o entrada de aire. Estos tubos son alimentados en su parte inferior con el agua de caldera por medio de colectores, teniendo en la parte superior, un colector (o dos) para la salida del agua que circula y el vapor que se pueda formar (teniendo este colector a su vez tubos hervidores o de desahogo de vapor en la parte superior). En la parte superior, se comunica con el tubo del hogar (corrugado), en donde se termina la combustión en el interior de la caldera humo-tubular. La pared frontal y parte de la pared posterior de su estructura interna en material refractario (ladrillo). En parte de un costado se encuentra la entrada de carga de la cáscara (un cargador rotativo o de empuje variable), a una parrilla inclinada formada por "placas" de fundición, y en la parte inferior la parrilla está formada por piezas móviles de fundición (que hacen avanzar el lecho de cáscara, en forma de movimietos regulados, en esa parte casi cenizas). Al final de la parrilla, hay una "canaleta" en donde la ceniza irá cayendo al avanzar el lecho. Veamos como funciona.

La cáscara es alimentada en forma continua (**Nº1,** de acuerdo a necesidad de mantener un "manto"), hay una primera etapa de secado de la humedad de la cáscara con el calor del hogar y luego, más sobre el hogar (**Nº2**) y forzado por una corriente de aire que empuja el calor sobre el lecho, esto produce el desprendimiento de gases orgánicos de la descomposición por el calor (la alta temperatura del hogar y una corriente de aire de baja velocidad, que entra por debajo del lecho, ya que el hogar está en depresión, hace el barrido, empujan estos

gases), estos gases entran en combustión (**N°4**) con los aires sobrantes y el terciario. El "manto" baja, en la medida que la combustión del "manto" casi destilado continua (hay una zona final en que queda solo carbono y la ceniza **N°3**), y luego de la combustión del carbono (provocada por el aire secundario) quedarán solamente las cenizas, siendo esta parte baja del lecho la que está sometida a un movimiento mecánico que hace avanzar el lecho, volcando las cenizas a un canal de extracción.

Veamos un triángulo de OSTWALD para cáscara de arroz.



En este triángulo de OSTWALD de CASCARA DE ARROZ, vemos que el máximo **CO % es de 32%** , **cuando en los combustibles líquidos y gas natural es menor**, esto se debe la presencia del oxígeno en el propio combustible, la cáscara de arroz, que **se da como que ya ha reaccionado con el hidrógeno**, por lo que queda de combustible, es practicamente carbono (**C**), que si trazaramos su triángulo de OSTWALD, daría un poco más del **34% como CO%** (monóxido de carbono con carbono puro).

El **control de combustión, se debe hacer con instrumentos** (midiendo el CO2% u O2% y el CO%, que este último debe ser practicamente 0%, aunque es dificil de obtener este valor si se pretende trabajar con un exceso de aire bajo, siendo normal este exceso de aire entre el 35% y el 50%, de lo contrario aparecen gases sin quemar, cuyo efecto es muy corrosivo, especialmente por la combinación de la abrasión de la ceniza y el azufre de por sí corrosivo, con otros gases sin quemar del tipo ácido (piroleñosos). Como un control práctico, se debe de tratar que la llama visible no pase del tercio del hogar, de manera de asegurarnos la combustión total.

Los gases de chimenea deben ser sometidos a un tratamiento de eliminación de las cenizas arrastradas (de lo contrario se contamina la zona con una sílice volátil).

Un problema considerable, es la eliminación de la ceniza (casi en un 90% sílice), se utiliza en algunos hornos de fundición, quedando otros usos todavía no aplicables en Uruguay.

La cáscara de arroz es un combustible que no debería ser desperdiciado, pero, lamentablemente se quema a "cielo abierto" y no se aprovecha su valor energético, solamente un par de plantas de **arroz parboiled** lo usan. Algunos hornos de pórtland las utilizaron, agregando con ello un calor adicional (y la ceniza que hasta cierto límite puede utilizarse integrado al pórtland).